

ISSN 1563-034X; eISSN 2617-7358

Индекс 75880; 25880

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

# ХАБАРШЫ

Экология сериясы

---

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

# ВЕСТНИК

Серия экологическая

---

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

# EURASIAN JOURNAL

of Ecology

---

## №2 (63)

Алматы  
«Қазақ университеті»  
2020



# ХАБАРШЫ

ЭКОЛОГИЯ СЕРИЯСЫ №2 (63) маусым

ISSN 1563-034X; eISSN 2617-7358

Индекс 75880; 25880



04. 05. 2017 ж. Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникация министрлігінде тіркелген

Күәлік № 16501-Ж

Журнал жылына 4 рет жарыққа шығады  
(наурыз, маусым, қыркүйек, желтоқсан)

## ЖАУАПТЫ ХАТШЫ

**Ниязова Р.Е.**, б.ғ.к., профессор (Қазақстан)

E-mail: Raygul.Niyazova@kaznu.kz

## РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

**Заядан Б.К.**, б.ғ.д., профессор, ҚР ҰҒА корр.-мүшесі,  
(ғылыми редактор) (Қазақстан)

**Колумбаева С.Ж.**, б.ғ.д., профессор (ғылыми редактордың  
орынбасары) (Қазақстан)

**Жубанова А.А.**, б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

**Шалахметова Т.М.**, б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

**Кенжебаева С.С.**, б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

**Атабаева С.Дж.**, б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

**Садырова Г.А.**, б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

**Баубекова А.С.**, б.ғ.к., доцент (Қазақстан)

**Мамилов Н.Ш.**, б.ғ.к., доцент (Қазақстан)

**Инелова З.А.**, б.ғ.к., доцент (Қазақстан)

**Кушнарченко С.В.**, б.ғ.к., доцент (Қазақстан)

**Абилев С.К.**, б.ғ.д., профессор (Ресей)

**Дигель И.**, PhD докторы, профессор (Германия)

**Маторин Д.**, б.ғ.д., профессор (Ресей)

**Рахман Е.**, PhD докторы, профессор (Қытай)

**Тамо Тацуя**, PhD докторы, профессор (Жапония)

**Аллахвердиев Сулейман**, PhD (Ресей)

**Каримов Б.**, б.ғ.д., профессор (Өзбекстан)

## ТЕХНИКАЛЫҚ ХАТШЫ

**Салмұрзаұлы Р.**, аға оқытушы (Қазақстан)

Экология сериясы қоршаған ортаны қорғау және қоршаған ортаға антропогендік факторлардың әсері, қоршаған орта ластаушыларының биотаға және тұрғындар денсаулығына әсерін бағалау, биологиялық алуантүрлілікті сақтаудың өзекті мәселелері бағыттарын қамтиды.



Министерство образования и науки  
Республики Казахстан  
Официальный интернет-ресурс  
Комитета по контролю в сфере  
образования и науки



## Ғылыми басылымдар бөлімінің басшысы

Гульмира Шаккозова

Телефон: +7 747 125 6790

E-mail: Gulmira.Shakkozova@kaznu.kz

## Редакторлары:

Гульмира Бекбердиева

Агила Хасанқызы

## Компьютерде беттеген

Айгүл Алдашева

## ИБ № 13623

Пішімі 60x84 1/8. Көлемі 8,3 б.т. Тапсырыс № 4441.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

«Қазақ университеті» баспа үйі.

050040, Алматы қаласы, әл-Фараби даңғылы, 71.

«Қазақ университеті» баспа үйінің баспаханасында басылды.

© Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, 2020

1-бөлім  
**ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ  
ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА  
АНТРОПОГЕНДІК ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІ**

---

Section 1  
**ENVIRONMENTAL IMPACT  
OF ANTHROPOGENIC FACTORS  
AND ENVIRONMENTAL PROTECTION**

---

Раздел 1  
**ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ  
АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ  
И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**С.А. Айткельдиева\*, Э.Р. Файзулина, О.Н. Ауэзова,  
Г.А. Спанкулова, Л.Г. Татаркина, А.В. Алимбетова**

ТОО «Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии»,  
Казахстан, г. Алматы, e-mail: sa.kz@list.ru, ecomicrolab@gmail.com

## **ОЦЕНКА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРМОТОЛЕРАНТНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ДЕГРАДАЦИИ НЕФТИ**

Проблема загрязнения природных экосистем нефтью и нефтепродуктами стоит крайне остро во многих странах мира, в том числе и в Казахстане. Значительная часть нефтезагрязненных участков расположена в регионах с жарким климатом, и в таких странах проводятся исследования по выделению термотолерантных микроорганизмов-деструкторов нефти с целью дальнейшего их применения для ремедиации нефтезагрязненных территорий. Круг таких микроорганизмов достаточно широк и разнообразен.

Эффективность применения способа биоремедиации загрязненных нефтью экосистем во многом зависит от биотических и абиотических факторов, например, таких как соленость, температурный режим, способность к продуцированию ПАВ, pH и т.д. Ранее из почв Западного Казахстана нами были выделены и идентифицированы термотолерантные нефтеокисляющие микроорганизмы, способные окислять углеводороды нефти в широком диапазоне температур. Целью данной работы было изучение способности активных термотолерантных нефтеокисляющих микроорганизмов к деградации нефти при разных концентрациях минеральных солей ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) и определение эмульгирующей активности для оценки их биотехнологического потенциала.

Установлено, что все отобранные штаммы являются галотолерантными. При этом на степень деструкции нефти в присутствии минеральных солей влиял температурный фактор. Самый высокий процент деградации нефти был при 35 °С. При этой температуре высокую активность показали штаммы К-3, 4/5, П1-35-14 при всех исследуемых концентрациях NaCl (3, 5 и 10%) – 73,6-85,9%, 62,7-91,1% и 73,6-75,7% соответственно. При 40 °С наибольшую активность показал штамм ИП-40-4 – 41,4-51,2%. При 50 °С деструкционная способность исследуемых культур была примерно на одном уровне при всех концентрациях NaCl. Культивирование отобранных штаммов с повышенным содержанием в среде  $\text{MgSO}_4$  показало, что наиболее устойчивым был штамм К-3, который сохранял высокую активность при всех температурах.

Было показано, что активные штаммы термотолерантных нефтеокисляющих микроорганизмов обладают эмульгирующей активностью. Высокие значения эмульгирующей активности отмечаются при температуре 35 °С, а при последующем повышении температуры образование ПАВ снижалось. При 35 °С наибольшей эмульгирующей активностью обладал штамм П2-35-9, при 40 °С и 50 °С – штамм К-3.

**Ключевые слова:** биоремедиация, термотолерантные углеводородокисляющие бактерии, засоленность, галотолерантность, эмульгирующая активность.

S.A. Aitkeldiyeva, E.R. Faizulina, O.N. Auezova,  
G.A. Spankulova, L.G. Tatarkina, A.V. Alimbetova  
LLC "Research and Production Center for Microbiology and Virology",  
Kazakhstan, Almaty, e-mail: sa.kz@list.ru, ecomicrolab@gmail.com

### **Evaluation of biotechnological potential of thermotolerant microorganisms for oil degradation**

The problem of pollution of natural ecosystems with oil and oil products is extremely acute in many countries of the world, including Kazakhstan. A significant part of oil-contaminated sites is located in regions with a hot climate, and in such countries studies are underway to isolate thermotolerant oil-degrading microorganisms with a view to their further use for remediation of oil-contaminated territories. The circle of such microorganisms is quite wide and diverse.

The effectiveness of the method of bioremediation of oil-polluted ecosystems largely depends on biotic and abiotic factors, for example, salinity, temperature, ability to produce surfactants, pH, etc. Earlier from the soils of Western Kazakhstan, we isolated and identified thermotolerant oil-oxidizing

microorganisms capable of oxidizing oil hydrocarbons in a wide temperature range. The aim of this work was to study the ability of active thermotolerant oil-oxidizing microorganisms to degrade oil at different concentrations of mineral salts ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) and to determine the emulsifying activity to assess their biotechnological potential.

It was established that all selected strains are halotolerant. Moreover, the temperature factor influenced the degree of oil degradation in the presence of mineral salts. The highest percentage of oil degradation was at 35°C. At this temperature, strains K-3, 4/5, P1-35-14 showed high activity at all studied NaCl concentrations (3, 5 and 10%) – 73.6-85.9%, 62.7-91.1 % and 73.6-75.7%, respectively. At 40°C, the strain IP-40-4 showed the highest activity – 41.4-51.2%. At 50°C, the destruction ability of the studied cultures was approximately at the same level at all NaCl concentrations. The cultivation of selected strains with a high content of  $\text{MgSO}_4$  in the medium showed that the K-3 strain was the most stable, which remained highly active at all temperatures.

It was shown that active strains of thermotolerant oil-oxidizing microorganisms had emulsifying activity. High values of emulsifying activity are observed at a temperature of 35°C, and with a subsequent increase in temperature, the formation of surfactants decreased. At 35°C, strain P2-35-9 had the greatest emulsifying activity, and at 40°C and 50°C – strain K-3.

**Key words:** bioremediation, thermotolerant hydrocarbon-oxidizing bacteria, salinity, halotolerance, emulsifying activity.

С.А. Айткельдиева\*, Э.Р. Файзулина, О.Н. Ауэзова,  
Г.А. Спанкулова, Л.Г. Татаркина, А.В. Алимбетова

«Микробиология және вирусология ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС,  
Қазақстан, Алматы қ., e-mail: sa.kz@list.ru, ecomicrolab@gmail.com

#### **Мұнайды ыдырату үшін термотолерантты микроорганизмдердің биотехнологиялық мүмкіндігін бағалау**

Табиғи экожүйелердің мұнай және мұнай өнімдерімен ластануы әлемнің көптеген елдерінде, оның ішінде Қазақстанда өте өткір мәселе болып табылады. Мұнаймен ластанған жерлердің едәуір бөлігі ыстық климаты бар аймақтарда орналасқан және мұндай елдерде мұнайды ыдырататын термотолерантты микроағзаларды бөліп алып, оларды одан әрі мұнаймен ластанған аумақтарды қалпына келтіру үшін пайдалану мақсатында зерттеулер жүргізіледі. Мұндай микроағзалардың шеңбері өте кең және алуан түрлі.

Мұнаймен ластанған экожүйелерді биоремедиациялау әдісінің тиімділігі көбінесе биотикалық және абиотикалық факторларға байланысты, мысалы, тұздылық, температура, ББЗ (беттік-белсенді заттарды) өндіру қабілетіне, рН және т.б. сияқты. Батыс Қазақстан топырағынан біз ертерек кең температуралық диапазонда мұнай көмірсутектерін тотықтыруға қабілетті, термотолерантты мұнай тотықтырғыш микроағзаларды бөліп алып және сәйкестендіргенбіз. Бұл жұмыстың мақсаты белсенді термотолерантты мұнай тотықтырғыш микроағзалардың минералды тұздардың әр түрлі концентрациясында ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) мұнайды ыдыратуға қабілеттілігін зерттеу және олардың биотехнологиялық мүмкіндігін бағалау үшін эмульгаторлық белсенділікті анықтау болды.

Барлық таңдалған штамдар галотолерантты екені анықталды. Сонымен қатар, минералды тұздардың қатысуымен мұнайдың ыдырау деңгейіне температура факторы әсер етті. Мұнайдың ең жоғары ыдырау пайызы 35°C болды. Бұл температурада K-3, 4/5, П1-35-14 штамдары зерттелген барлық NaCl концентрациясында (3, 5 және 10%) жоғары белсенділік көрсетті – 73.6-85.9%, 62.7-91.1% сәйкесінше және 73,6-75,7%. 40°C кезінде ең жоғары белсенділік – 41.4-51.2% ИП-40-4 штаммы көрсетті. 50°C температурада зерттелген дақылдардың ыдырату қабілеттілігі барлық NaCl концентрациясында бірдей деңгейде болды. Таңдалған штамдарды жоғары құрамда  $\text{MgSO}_4$  бар қоректік ортада өсіруде K-3 штаммы ең тұрақты екенін көрсетті, сондай-ақ барлық температурада жоғары белсенділігін сақтады.

Термотолерантты мұнай тотықтырғыш микроағзалардың белсенді штамдары эмульгаторлық белсенділікке ие екендігі көрсетілді. Эмульгаторлық белсенділіктің жоғары мәндері 35°C температурада байқалады, ал содан кейін температураның жоғарылауында ББЗ түзілуі төмендеді. 35°C температурада ең үлкен эмульгаторлық белсенділікке П2-35-9 штаммы, ал 40°C және 50°C K-3 штаммы ие болды.

**Түйін сөздер:** биоремедиация, термотолерантты көмірсутек тотықтырғыш бактериялар, тұздылық, галотолерантты, эмульгаторлық белсенділік.

## Введение

Загрязнение окружающей среды нефтяными углеводородами стало одной из самых серьезных глобальных проблем из-за его токсичности для всех низших и высших форм жизни, включая людей [1, 2, 3]. Восстановление загрязненных участков путем биодegradации с использованием нефтеокисляющих микроорганизмов является наиболее эффективным способом, так как обычные физико-химические методы восстановления являются технически, а также экономически сложными. В связи с тем, что значительная часть нефтезагрязненных участков расположена на территориях с повышенной климатической температурой, проводятся многочисленные исследования по выявлению и изучению термотолерантных микроорганизмов-деструкторов нефти с целью дальнейшего их применения для ремедиации нефтезагрязненных территорий. Такого рода исследования на сегодняшний день являются актуальными [4].

Современные технологии биоремедиации нефтезагрязненных экосистем основаны, главным образом, на применении бактериальных препаратов, эффективность применения которых определяется специфическими свойствами штамма-деструктора и жизнеспособностью клеток, входящих в его состав.

Так, на активность микроорганизмов влияют многие факторы, одним из которых является соленость [5]. Qin X. и соавт. [6] предположили, что соленость оказывает значительное влияние на процесс биоремедиации и биоразложения нефти, а также на рост микроорганизмов. Было доказано, что соленость оказывает неблагоприятное влияние на активность некоторых ключевых ферментов, участвующих в процессе биодegradации углеводов [7]. В то же время было показано, что ряд органических загрязнителей минерализуется или трансформируется микроорганизмами, способными расти в присутствии соли [8]. Так, *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* способен расти в условиях солености до 20% и утилизировать различные алифатические и ароматические углеводороды [9]. Mnif S. с соавт. [10] выделили из нефтяного месторождения в Тунисе штамм C2SS100, принадлежащий к роду *Halomonas*. Штамм рос при температуре 37 °C и солености 10 г/л и был способен окислять углеводороды, в частности, гексадекан. Из нефтяной скважины в Тунисе был выделен штамм Lit2, принадлежащий к роду *Modicisalibacter*, способный к росту в температурном диапазоне 15-45 °C и выдержи-

вающий до 25% соли в среде [11]. Wang Y.N. с соавт. [12] выделили из месторождения в Китае новый штамм *Amicollicoccus subflavus* DQS3-9A1, растущий в диапазоне температур 15-42 °C с оптимумом 37 °C, pH 6-11 (оптимум 8) и в присутствии соли в среде 1-12% (оптимум 8%).

Одной из наиболее важных особенностей бактерий, разлагающих углеводороды нефти, является способность продуцировать биосурфактанты, включающие различные химические структуры, такие как жирные кислоты, гликолипиды, пептиды и белки с гидрофобными и гидрофильными фрагментами, которые уменьшают поверхностное и межфазное натяжение между отдельными молекулами [13]. Добавление поверхностно-активных веществ повышает растворимость, десорбцию и биодоступность нефти. Поэтому существует необходимость в поиске микроорганизмов – деструкторов нефти и продуцентов поверхностно активных веществ, изменяющих свойства нефтяных пленок. Способность к образованию биосурфактантов выявлена у широкого круга микроорганизмов. Так, например, микробное сообщество нефтяного пласта включало аэробные углеводородокисляющие бактерии и анаэробные бродильные, сульфатредуцирующие и метанобразующие микроорганизмы. Был выявлен ряд видов микроорганизмов, продуцирующих биосурфактанты, химическая структура которых широко варьировалась. Эти поверхностно-активные вещества включали рамнолипиды, продуцируемые *Pseudomonas sp.*; софоролипиды, производимые *Candida sp.*; сурфактины из *Bacillus subtilis*; липополисахариды, производимые *Acinetobacter calcoaceticus* RAG1; трегалозные липиды (трегалоллипиды), продуцируемые *Mycobacterium sp.* и *Rhodococcus erythropolis* и фосфолипиды, продуцируемые *Thiobacillus thiooxidans* [14, 15, 16, 17, 18]. Первичную оценку способности к синтезу поверхностно-активных веществ у исследуемых штаммов оценивают по эмульгирующей активности (ЭА) культуральной жидкости, так как известно, что ЭА культуральной жидкости является важной, характеристикой штаммов как продуцентов ПАВ.

Таким образом, для разработки критериев составления микробных консорциумов и создания на их основе бактериальной ассоциации, для биоремедиации территорий, загрязненных высокими концентрациями нефти и нефтепродуктов в широком температурном диапазоне необходимо всестороннее изучение выделенных штаммов. Так в данной работе для исследуемых микроор-

ганизмов был в первую очередь определён температурный диапазон, при котором происходила деградация углеводов нефти, отношение к высоким концентрациям солей и способность продуцировать биосурфактанты. Ранее нами были выделены 15 наиболее активных культур нефтеокисляющих термотолерантных микроорганизмов, которые могли расти в широком температурном диапазоне [19]. Было установлено, что большинство из них (9 культур) относятся к роду *Bacillus*, 3 культуры являются представителями рода *Brevibacillus*, 3 культуры отнесены к родам *Gordonia*, *Pseudomonas* и *Achromobacter*. Дальнейшая работа проводилась с этими штаммами культур микроорганизмов.

Целью нашего исследования было изучение способности отобранных ранее штаммов термотолерантных нефтеокисляющих микроорганизмов окислять углеводороды нефти при различных концентрациях минеральных солей и определение их эмульгирующей активности.

### Материалы и методы

Изучение способности штаммов термотолерантных нефтеокисляющих микроорганизмов окислять углеводороды нефти при различных концентрациях минеральных солей ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) проводили в колбах Эрленмейера с минеральной средой, следующего состава, г/л:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – 1,0,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 1,0,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1,0,  $\text{MgSO}_4$  – 0,2,  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 0,02,  $\text{FeCl}_3$  – следы,  $\text{pH} = 7,0-7,2$ .  $\text{NaCl}$  добавляли в количестве 3, 5 и 10%,  $\text{MgSO}_4$  – 0,5 и 1%. В колбы со 100 мл среды вносили по 5 мл суспензии клеток каждой исследуемой культуры и добавляли по 1% (по объему) нефти. Суспензию клеток получали путем смыва стерильной водой биомассы со скошенного питательного агара. Колбы помещали в термостатируемые шейкеры при 35, 40 и 50 °С на 14 суток.

Эмульгирующую активность термотолерантных штаммов исследовали при температурах 35

°С, 40 °С и 50 °С. Изучаемые микроорганизмы выращивали в жидкой минеральной среде с добавлением 1% вазелинового масла в течение 48 ч. Затем эмульсию центрифугировали на центрифуге 5804 R (Eppendorf, Germany) в течение 3 мин при 10000 об/мин. После этого 1 мл супернатанта переносили в пробирки и добавляли 1 мл минеральной среды и 0,5 мл вазелинового масла. Содержание пробирки перемешивали на миксере в течение 2 мин. Оценку поверхностной активности проводили по оптической плотности на спектрофотометре PD-303 (Japan) при длине волны 540 нм. В качестве контроля использовали 0,5 мл вазелинового масла в 2 мл среды [20]. Количественное потребление нефти определяли гравиметрическим методом [21].

### Результаты исследований и обсуждение

Известно, что почва на нефтяных месторождениях Казахстана является в разной степени засоленной. По типу засоления – это, прежде всего, хлоридно-натриевое и сульфатно-магниевое засоление. В связи с этим изучалась способность ранее отобранных термотолерантных нефтеокисляющих бактерий деградировать нефть м. Жанаталап при повышенных температурах и различных концентрациях солей  $\text{NaCl}$  (3, 5 и 10%) и  $\text{MgSO}_4$  (0,5 и 1%).

Изучение количественного потребления нефти при 35 °С показало, что четыре культуры К-3, 4/5, 22ПК, П1-35-14 проявляли высокую активность при всех исследуемых концентрациях  $\text{NaCl}$  (таблица 1). Наиболее заметное снижение активности с увеличением концентрации соли отмечено у штамма 4/5. У культур К-3 и 22ПК происходило незначительное снижение активности, а у культуры П1-35-14 при всех концентрациях степень деструкции нефти оставалась практически на одном уровне и составляла 73,6-75,7%. Наименьшую активность показали культуры П1-35-2 и П2-35-9.

**Таблица 1** – Деструкция нефти активными штаммами термотолерантных бактерий при разных концентрациях  $\text{NaCl}$

Штамм	Степень деструкции нефти, %		
	3% $\text{NaCl}$	5% $\text{NaCl}$	10% $\text{NaCl}$
35°С			
<i>Rhodococcus fascians</i> К-3	85,9±2,6	81,3±2,3	73,6±2,1
4/5	91,1±2,3	65,4±2,0	62,7±0,5
<i>Rhodococcus jialingiae</i> 22ПК	70,7±2,1	64,3±2,1	61,6±1,8

Штамм	Степень деструкции нефти, %		
	3% NaCl	5% NaCl	10% NaCl
<i>Bacillus megaterium</i> П1-35-2	31,0±1,6	35,9±1,0	32,5±0,6
<i>Gordonia amicalis</i> П1-35-14	74,9±2,1	75,7±2,2	73,6±2,3
<i>Achromobacter xylosoxidans</i> П2-35-9	34,9±1,8	45,1±1,6	27,1±0,5
контроль	8,2±0,4	8,9±0,6	9,5±0,6
40°C			
<i>Rhodococcus fascians</i> К-3	39,5±0,9	32,8±1,4	40,6±0,5
<i>Achromobacter pestifer</i> 25Ш	42,6±0,9	43,2±1,8	36,8±0,6
<i>Bacillus cereus</i> ИП-40-4	51,2±1,0	41,4±1,8	47,4±0,9
<i>Bacillus cereus</i> П1-40-8	38,9±1,6	39,0±1,6	39,0±1,4
контроль	9,3±0,6	9,9±0,4	10,4±1,4
50°C			
<i>Rhodococcus fascians</i> К-3	41,1±1,1	39,0±0,6	40,3±0,5
<i>Bacillus subtilis</i> 72	43,3±2,3	38,9±1,2	38,8±0,9
<i>Bacillus aerius</i> KB-36	45,7±1,1	41,2±2,1	38,6±1,1
<i>Brevibacillus borstelensis</i> П2-50-2	36,1±0,9	38,7±1,6	38,6±1,1
<i>Brevibacillus borstelensis</i> П2-50-5	26,3±1,2	51,4±2,6	38,8±0,5
контроль	10,2±0,6	10,4±0,4	10,5±0,4

При температуре инкубации 40 °С исследовались четыре ранее отобранные культуры. Из них наибольшую активность проявил штамм ИП-40-4. Остальные культуры были менее активны. При температуре 50 °С в присутствии в среде 3% NaCl деструкция нефти составляла 26,3-45,7%, при 5% – 38,7-51,4%, при 10% – 38,6-40,3%. У четырех культур К-3, 72, KB-36, П2-50-2 деструкционная способность была примерно на одном уровне при всех концентрациях NaCl. Только у штамма П2-50-5 нефтеокисляющая активность резко возросла при увеличении концентрации соли до 5% и составила 51,4%. При 10%-ном содержании NaCl все исследуемые штаммы утилизировали нефть практически на одном уровне.

Результаты изучения количественного потребления нефти при разных концентрациях MgSO<sub>4</sub> представлены в таблице 2. Показано, что при 35 °С наиболее активным был штамм К-3. При этом концентрация соли практически не влияла на его способность деградировать углеводороды нефти. Также довольно высокий процент утилизации нефти был у культур 4/5, 22ПК и П1-35-14. Однако у штамма 22ПК с увеличением концентрации этой соли происхо-

дило довольно значительное снижение нефтеокисляющей активности. Необходимо отметить, что культура П2-35-9 была более приспособлена к наличию в среде повышенного содержания MgSO<sub>4</sub>, чем присутствие NaCl. Так при содержании в среде 10% NaCl деструкция нефти составляла 27,1%, а при содержании 1% MgSO<sub>4</sub> – 42,5%.

Из четырех культур, способных расти на нефти при 40 °С, наибольшая активность отмечена у штамма К-3. Остальные культуры утилизировали нефть примерно на одном уровне. Из пяти культур, способных расти при 50 °С, самым активным был также штамм К-3. При этом с увеличением концентрации сульфата магния возрастала степень утилизации нефти – от 56,1% до 68,9%. Такая же тенденция отмечалась и для штаммов KB-36 и П2-50-2. Штаммы 72 и П2-50-5 утилизировали нефть при обеих концентрациях MgSO<sub>4</sub> на одном уровне.

Таким образом, изучение галотолерантности отобранных штаммов показало, что все они способны расти и утилизировать нефть при повышенном содержании солей NaCl и MgSO<sub>4</sub>. При этом на степень деструкции нефти влиял температурный фактор.



**Таблица 2** – Деструкция нефти активными штаммами термотолерантных бактерий при разных концентрациях  $MgSO_4$ 

Штамм	Степень деструкции нефти, %	
	0,5% $MgSO_4$	1% $MgSO_4$
35 °C		
<i>Rhodococcus fascians</i> К-3	84,7±2,3	80,5±0,5
<i>Rhodococcus jialingiae</i> 4/5	56,6±1,6	46,2±1,1
<i>Rhodococcus jialingiae</i> 22ПК	62,9±2,1	42,8±0,6
<i>Bacillus megaterium</i> П1-35-2	28,7±0,9	24,9±0,9
<i>Gordonia amicalis</i> П1-35-14	61,6±2,6	54,8±2,3
<i>Achromobacter xylosoxidans</i> П2-35-9	48,1±1,8	42,5±2,6
контроль	10,8±0,6	10,0±0,4
40 °C		
<i>Rhodococcus fascians</i> К-3	41,6±2,1	41,2±1,3
<i>Achromobacter pestifer</i> 25Ш	36,8±1,1	35,4±0,6
<i>Bacillus cereus</i> ИП-40-4	38,1±1,1	36,0±0,4
<i>Bacillus cereus</i> П1-40-8	37,2±0,8	35,1±1,1
контроль	11,6±0,6	12,6±0,6
50 °C		
<i>Rhodococcus fascians</i> К-3	56,1±2,1	68,9±2,6
<i>Bacillus subtilis</i> 72	47,0±1,8	46,3±0,9
<i>Bacillus aerius</i> КВ-36	43,5±1,1	61,6±2,1
<i>Brevibacillus borstelensis</i> П2-50-2	55,3±2,3	61,6±1,8
<i>Brevibacillus borstelensis</i> П2-50-5	53,7±1,6	52,3±1,1
контроль	11,0±0,4	12,2±0,4

Так как нефть слабо- или не растворима в воде, важным механизмом ее деструкции является образование нефтеокисляющими микроорганизмами поверхностно-активных соединений (биоПАВ или сурфактантов). Поскольку объектами наших исследований были термотолерантные штаммы микроорганизмов, а температура является одним из главных факторов, влияющих на их жизнедеятельность, была проведена сравнительная оценка эмульгирующей активности (ЭА) при температурах 35 °C, 40 °C и 50 °C. По показаниям ЭА каждой изучаемой культуры можно судить о синтезе и освобождении метаболитов с поверхностно-активными свойствами.

Эмульгирующую активность определяли только у штаммов, которые из всех изучаемых

проявляли наибольшую нефтеокисляющую активность при соответствующих температурах (таблица 3). Данные таблицы показали, что наибольшие значения эмульгирующей активности были отмечены при температуре 35 °C. При последующем повышении температуры образование ПАВ снижалось. Относительно контроля высокие значения эмульгирующей активности при 35 °C показали штаммы П2-35-9, П1-35-14 и 22ПК. При 40 °C высокая эмульгирующая активность была у штамма 25Ш, а при 50 °C – у штаммов 72 и П2-50-2. Штамм К-3 был самым активным при температурах 40 °C и 50 °C. У этого штамма при повышении температуры эмульгирующая активность снижалась, но все еще оставалась значительной по отношению к контролю.

Таблица 3 – Значения эмульгирующей активности у отобранных термотолерантных штаммов при разных температурах

Штамм	№ штамма	Оптическая плотность, ед ОП <sub>540</sub>
35°C		
<i>Rhodococcus jialingiae</i>	4/5	0,093±0,01
<i>Rhodococcus fascians</i>	К-3	0,123±0,03
<i>Rhodococcus jialingiae</i>	22ПК	0,152±0,05
<i>Gordonia amicalis</i>	П1-35-14	0,185±0,05
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	П2-35-9	0,291±0,08
<i>Bacillus megaterium</i>	П1-35-2	0,110±0,04
контроль		0,043±0,01
40°C		
<i>Rhodococcus fascians</i>	К-3	0,120±0,03
<i>Achromobacter pestifer</i>	25Ш	0,108±0,06
<i>Bacillus cereus</i>	ИП-40-4	0,082±0,02
<i>Bacillus cereus</i>	П1-40-8	0,064±0,02
контроль		0,040±0,01
50°C		
<i>Bacillus subtilis</i>	72	0,082±0,02
<i>Rhodococcus fascians</i>	К-3	0,090±0,02
<i>Bacillus aerius</i>	КВ-36	0,064±0,01
<i>Brevibacillus borstelensis</i>	П2-50-2	0,074±0,02
<i>Brevibacillus borstelensis</i>	П2-50-5	0,068±0,03
контроль		0,042±0,01

Таким образом, было установлено, что все отобранные активные штаммы термотолерантных нефтеокисляющих микроорганизмов обладают эмульгирующей активностью. При этом у культур одного вида на штаммовом уровне ее значения могли различаться. Эти штаммы являются перспективными для дальнейших исследований по созданию активных консорциумов, используемых для очистки нефтезагрязненных почв в условиях высоких температур. Кроме того, проведенные эксперименты показали, что первичный скрининг активных нефтеокисляющих термотолерантных культур микроорганизмов можно проводить с использованием таких показателей как эмульгирующая активность и отношение к высоким концентрациям солей.

### Заключение

Известно, что климат в нефтедобывающих регионах Казахстана резко-континентальный и характеризуется суточными перепадами темпе-

ратур, высокими темпами испарения воды и, как следствие, засоленностью и низкой влажностью грунта. Способность термотолерантных бактерий утилизировать нефть в условиях повышенных температур и содержания соли в среде делает их перспективными агентами ремедиации территорий, которые не могут быть очищены путем применения мезофильных нефтедеструкторов. Физиологические свойства термотолерантных бактерий и их метаболизм адаптированы к повышенным температурам, однако изучение особенностей таких штаммов требует дополнительных исследований. Таксономическое разнообразие термотолерантных бактерий позволяет использовать их в ремедиационных технологиях не только как монокультуры, но и составлять микробные ассоциации с целью ускорения и повышения суммарной эффективности деградационного процесса. Бактериальные сообщества (консорциумы), как правило, более гибкие, чем любые отдельные виды, поэтому они способны окислять более широкий диапазон загрязняющих веществ [22].

Для разработки критериев составления микробных консорциумов и создания на их основе бактериальной ассоциации, для биоремедиации территорий, загрязненных высокими концентрациями нефти и нефтепродуктов в широком температурном диапазоне, было необходимо всестороннее изучение выделенных штаммов. В связи с этим в данной работе для исследуемых микроорганизмов был в первую очередь определен температурный диапазон окисления углеводородов нефти, отношение к высоким концентрациям солей и способность продуцировать биосурфактанты. Известно, что наличие солености ухудшает метаболическую активность многих микробов, тем самым снижая их способность к биоразложению нефти. В частности, соленость отрицательно влияет на активность некоторых ключевых ферментов, участвующих в процессе разложения углеводородов [23]. Так, Ali Ebadi с соавторами [7] показали, что консорциум, состоящий из 4 штаммов *P. aeruginosa*, продуцирующих биосурфактанты, был способен разлагать сырую нефть в присутствии высокой солености. Изучение галотолерантности отобранных нами термотолерантных штаммов показало, что все они способны расти и деградировать нефть при повышенном содержании солей. Было установлено, что с повышением концентрации солей уменьшалась способность нефтеокисляющих штаммов к деградации нефти, что коррелировало с исследованиями, проведенными Qin X. и соавторами [6]. При этом на степень деструкции нефти влиял температурный фактор, как и в случае с вновь выделенным штаммом *Modicisalibacter tunisiensis* LIT2 (T), который рос при температуре от 15 до 45 °С (опт. 37 °С) в присутствии 1-25% NaCl (опт. 10%) NaCl [11]. Галотолерантный бактериальный штамм *Halomonas*

*sp.* C2SS100 был способен эффективно разлагать углеводороды при 37 °С. Во время роста этого штамма на гексадекане гидрофобность поверхности клеток и эмульгирующая активность увеличивались, что указывало на продукцию биосурфактанта [10]. В целом, результаты исследований, приведенные в данной работе коррелируют с литературными данными. Увеличение концентрации солей и повышение температуры приводят к уменьшению способности штаммов микроорганизмов к окислению углеводородов нефти. Для оценки биотехнологического потенциала выделенных термотолерантных штаммов микроорганизмов необходимы дальнейшие исследования.

Таким образом, было установлено, что все отобранные активные штаммы термо- и галотолерантных нефтеокисляющих микроорганизмов обладают эмульгирующей активностью и на штаммовом уровне ее значения могли различаться. Выделенные штаммы могут быть перспективными для дальнейших исследований по созданию активных консорциумов, используемых для очистки нефтезагрязненных почв в условиях повышенных температур.

*Конфликт интересов.* Все авторы прочитали и ознакомлены с содержанием статьи и не имеют конфликта интересов.

*Источник финансирования* Работа выполнена при поддержке Национальной программы грантов Казахстана на 2018-2020 годы. Финансирование предоставлено Министерством образования и науки Республики Казахстан в рамках бюджетной программы 217 «Развитие науки» и подпрограммы 102 «Грантовое финансирование научных исследований», договор № 102 от 05 марта 2018 года, проект № AP05132128.

## Литература







- 1 Hasanuzzaman M., Ueno A., Ito H., Yamamoto Y., Yumoto I., Okuyama H. Degradation of long-chain n-alkanes C36 and C40 by *Pseudomonas aeruginosa* strain WatG // Int. Biodeterior. Biodegrad. – 2007. – Vol. 59. – P. 40-43.
- 2 Saeki H., Sasaki M., Komatsu K., Miura A., Matsuda H. Oil spill remediation by using the remediation agent JE1058BS that contains a biosurfactant produced by *Gordonia sp.* strain JE-1058 // Bioresour. Technol. – 2009. – Vol. 100. – P. 572-577.
- 3 Varjani S.J., Upasani V.N. Carbon spectrum utilization by an indigenous strain of *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514: production, characterization and surface active properties of biosurfactant // Bioresour. Technol. – 2016. – Vol. 221. – P. 510-516.
- 4 Al-Wasify R.S., Hamed S.R. Bacterial Biodegradation of Crude Oil Using Local Isolates // International Journal of Bacteriology. – 2014. – <https://doi.org/10.1155/2014/863272>. – 8 p.
- 5 Adnan B. Al-Hawash, Maytham A. Dragh, Shue Li, Ahmad Alhujaily Hayder A. Abbood, Xiaoyu Zhang Fuying M. Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment // The Egyptian Journal of Aquatic Research. – 2018. – Vol. 44 (2). – P. 71-76.
- 6 Qin X., Tang J., Li D., Zhang Q. Effect of salinity on the bioremediation of petroleum hydrocarbons in a saline alkaline soil // Lett. Appl. Microbiol. – 2012. – Vol. 55 (3). – P. 210-217.

- 7 Ebadi A., Khoshkholgh Sima N.A., Olamaee M., Hashemi M., Ghorbani N. R. Effective bioremediation of a petroleum-polluted saline soil by a surfactant-producing *Pseudomonas aeruginosa* consortium // *J. Adv. Res.* – 2017. – Vol. 8 (6). – P. 627-633.
- 8 Margesin R., Schinner F. Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2001. – Vol. 56. – P. 650–663.
- 9 Gauthier M.J., Lafay B., Christen R., Fernandez L., Acquaviva M., Bonin P., Bertrand J.C. *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* gen. nov., sp. nov., a new extremely halotolerant, hydrocarbon-degrading marine bacterium // *Int. J. Syst. Bacteriol.* – 1992. – Vol. 42. – P. 568–576.
- 10 Mnif S., Chamkha M., Sayadi S. Isolation and characterization of *Halomonas* sp. strain C2SS100, a hydrocarbon-degrading bacterium under hyper saline conditions // *Journal of Applied Microbiology.* – 2009. – Vol. 107. – P. 785–794.
- 11 Ben Ali Gam Z., Abdelkafi S., Casalot L., Tholozan J. L., Oueslati R., Labat M. *Modicisalibacter tunisiensis* gen. nov., sp. nov., an aerobic, moderately halophilic bacterium isolated from an oilfield-water injection sample, and emended description of the family Halomonadaceae Franzmann et al. 1989 emend Dobson and Franzmann 1996 emend Ntougias et al. 2007 // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* – 2007. – Vol. 57. – P. 2307–2313.
- 12 Wang Y.N., Chi C.Q., Cai M., Lou Z.Y., Tang Y.Q., Zhi X.Y. *Amycolicococcus* sub. *flavus* gen. nov., sp. nov., an actinomycete isolated from a saline soil contaminated by crude oil // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* – 2010. – Vol. 60. – P. 638-643.
- 13 Баутиста Х., Эрнандес-Гомес Т., Кардинале М., Колпаков А.И. Багаева Т.В. Выделение галотолерантных нефтеокисляющих бактерий – продуцентов биосурфактантов из прибрежного шельфа северной Кубы // 1-й Российский микробиологический конгресс: Сб. тез. – Москва. Пушино-на-Оке, 17-18 октября, 2017. – С. 139-140.
- 14 Elshafie A.E., Joshi S.J., Al-Wahaibi Y.M., Al-Bemani A.S., Al-Bahry S.N., Al-Maqbali D., Banat I.M. Sophorolipids production by *Candida bombicola* ATCC 22214 and its potential application in microbial enhanced oil recovery // *Front Microbiol.* – 2015. – Vol.6. – P. 1324-1331.
- 15 Whang L.M., Liu P.W.G., Ma C.C., Cheng S.S. Application of biosurfactants, rhamnolipid, and surfactin, for enhanced biodegradation of diesel-contaminated water and soil // *J Hazard Mater.* – 2008. – Vol.151. – P.155–163.
- 16 Fondi M., Maida I., Perrin E., Orlandini V., La Torre L., Bosi E., Negroni A., Zanolli G., Fava F., Decorosi F., Giovannetti L., Viti C., Vaneechoutte M., Dijkshoorn L., Fani R. Genomic and phenotypic characterization of the species *Acinetobacter venetianus* // *Sci. Rep.* – 2016. – Vol. 6. – [https://doi: 10.1038/srep21985](https://doi.org/10.1038/srep21985)
- 17 White D.A., Hird L.C., Ali S.T. Production and characterization of a trehalolipid biosurfactant produced by the novel marine bacterium *Rhodococcus* sp., strain PML026 // *J Appl. Microbiol.* – 2013. – Vol.115. – P. 744–755.
- 18 Mohanty S., Jasmine J., Mukherji S. Practical considerations and challenges involved in surfactant enhanced bioremediation of oil // *Biomed. Res. Int.* – 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/328608>
- 19 Aitkeldiyeva S.A., Faizulina E.R., Auezova O.N., Tatarkina L.G., Spankulova G.A. Isolation and study of thermotolerant oil-oxidizing microorganisms // *News of NAS RK, Series of biological and medical.* – 2019. – Vol. 2. – P. 56-62.
- 20 Ягофарова А.Я., Муканова К.Т., Хасенова Э.Ж., Шарипова Г.Ж., Молдагулова Н.Б. Исследование влияния физических факторов на активность биосурфактантов продуцируемых штаммом *Dietzia maris mb3* и изучение их фитотоксичности // *Вестник КазНУ. Сер. Экол.* – 2013. – Вып. 38, №2/2. – С. 409-414.
- 21 Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – 448 с.
- 22 Sunita J. Varjani Microbial degradation of petroleum hydrocarbons // *Bioresour. Technol.* – 2017. – Vol. 223. – P.277-286.
- 23 Gao Y., Wang J., Xu J., Kong X., Zhao L., Zeng D.-H. Assessing the quality of oil-contaminated saline soil using two composite indices // *Ecol. Indic.* – 2013. – Vol. 24. – P. 105-112.

## References

- 1 Hasanuzzaman M., Ueno A., Ito H., Yamamoto Y., Yumoto I., Okuyama H. “Degradation of long-chain n-alkanes C36 and C40 by *Pseudomonas aeruginosa* strain WatG”. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* Vol. 59 (2007): 40-43.
- 2 Saeki H., Sasaki M., Komatsu K., Miura A., Matsuda H. “Oil spill remediation by using the remediation agent JE1058BS that contains a biosurfactant produced by *Gordonia* sp. strain JE-1058”. *Bioresour. Technol.* 100 (2009): 572-577.
- 3 Varjani S.J., Upasani V.N. “Carbon spectrum utilization by an indigenous strain of *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514: production, characterization and surface active properties of biosurfactant”. *Bioresour. Technol.* 221 (2016): 510-516.
- 4 Al-Wasify R.S., Hamed S.R. “Bacterial Biodegradation of Crude Oil Using Local Isolates”. *International Journal of Bacteriology.* (2014): <https://doi.org/10.1155/2014/863272>.
- 5 Adnan B. Al-Hawash, Maytham A. Dragh, Shue Li, Ahmad Alhujaily Hayder A. Abbood, Xiaoyu Zhang Fuying M. “Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment”. *The Egyptian Journal of Aquatic Research.* 44, 2 (2018): 71-76.
- 6 Qin X., Tang J., Li D., Zhang Q. “Effect of salinity on the bioremediation of petroleum hydrocarbons in a saline alkaline soil”. *Lett. Appl. Microbiol.* 55, 3 (2012): 210-217.
- 7 Ebadi A., Khoshkholgh Sima N.A., Olamaee M., Hashemi M., Ghorbani N. R. “Effective bioremediation of a petroleum-polluted saline soil by a surfactant-producing *Pseudomonas aeruginosa* consortium”. *J. Adv. Res.* 8, 6 (2017): 627-633.
- 8 Margesin R., Schinner F. “Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments”. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56 (2001): 650–663.
- 9 Gauthier M.J., Lafay B., Christen R., Fernandez L., Acquaviva M., Bonin P., Bertrand J.C. “*Marinobacter hydrocarbonoclasticus* gen. nov., sp. nov., a new extremely halotolerant, hydrocarbon-degrading marine bacterium”. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 42 (1992): 568–576.

- 10 Mnif S., Chamkha M., Sayadi S. "Isolation and characterization of *Halomonas* sp. strain C2SS100, a hydrocarbon-degrading bacterium under hyper saline conditions". *J Appl. Microbiol.* 107 (2009): 785–794.
- 11 Ben Ali Gam Z., Abdelkafi S., Casalot L., Tholozan J. L., Oueslati R., Labat M. "Modicisalibacter tunisiensis gen. nov., sp. nov., an aerobic, moderately halophilic bacterium isolated from an oilfield-water injection sample, and emended description of the family Halomonadaceae Franzmann et al. 1989 emend Dobson and Franzmann 1996 emend. Ntougias et al. 2007". *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 57 (2007): 2307–2313.
- 12 Wang Y.N., Chi C.Q., Cai M., Lou Z.Y., Tang Y.Q., Zhi X.Y. "Amycolicococcus sub. flavus gen. nov., sp. nov., an actinomycete isolated from a saline soil contaminated by crude oil". *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 60 (2010): 638-643.
- 13 Bautista H., Ermandes-Gomes T., Kardinal M., Kolpakov A.I. Bagaeva T.V. "Vydelenie galotolerantnyh nefteokislyayushchih bakterij – producentov biosurfaktantov iz pribrezhnogo shel'fa severnoj Kuby [Isolation of halotolerant oil-oxidizing bacteria – producers of biosurfactants from the coastal shelf of northern Cuba]". 1st Russian Microbiological Congress: Abstracts Moscow (2017): 139-140.
- 14 Elshafie A.E., Joshi S.J., Al-Wahaibi Y.M., Al-Bemani A.S., Al-Bahry S.N., Al-Maqbali D., Banat I.M. "Sphorolipids production by *Candida bombicola* ATCC 22214 and its potential application in microbial enhanced oil recovery". *Front Microbiol.* 6 (2015): 1324-1331.
- 15 Whang L.M., Liu P.W.G., Ma C.C., Cheng S.S. "Application of biosurfactants, rhamnolipid, and surfactin, for enhanced biodegradation of diesel-contaminated water and soil". *J Hazard Mater.* 151 (2008): 155–163.
- 16 Fondi M., Maida I., Perrin E., Orlandini V., La Torre L., Bosi E., Negroni A., Zanaroli G., Fava F., Decorosi F., Giovannetti L., Viti C., Vaneechoutte M., Dijkshoorn L., Fani R. "Genomic and phenotypic characterization of the species *Acinetobacter venetianus*". *Sci. Rep.* 6 (2016): [https://doi: 10.1038/srep21985](https://doi.org/10.1038/srep21985)
- 17 White D.A., Hird L.C., Ali S.T. "Production and characterization of a trehalolipid biosurfactant produced by the novel marine bacterium *Rhodococcus* sp., strain PML026". *J Appl. Microbiol.* 115 (2013): 744–755.
- 18 Mohanty S., Jasmine J., Mukherji S. "Practical considerations and challenges involved in surfactant enhanced bioremediation of oil". *Biomed. Res. Int.* (2013): <https://doi.org/10.1155/2013/328608>
- 19 Aitkeldiyeva S.A., Faizulina E.R., Auezova O.N., Tatarkina L.G., Spankulova G.A. "Isolation and study of thermotolerant oil-oxidizing microorganisms". *News of NAS RK, Series of biological and medical.* 2 (2019): 56-62.
- 20 Yagofarova A.Ya., Mukanova K.T., Hasenova E.Zh., SHaripova G.Zh., Moldagulova N.B. "Issledovanie vliyaniya fizicheskikh faktorov na aktivnost' biosurfaktantov produciruemyh shtammom *Dietzia maris* mb3 i izuchenie ih fitotoksichnosti [Study of the influence of physical factors on the activity of biosurfactants produced by the strain *Dietzia maris* mb3 and study of their phytotoxicity]". *Bulletin of KazNU. Ser. Ecol.* 38, 2/2 (2013): 409-414.
- 21 Lur'e Yu.Yu. *Analiticheskaya himiya promyshlennyh stochnyh vod [Analytical chemistry of industrial wastewater].* M.: Chemistry, 1984.
- 22 Sunita J. Varjani "Microbial degradation of petroleum hydrocarbons". *Bioresource Technology.* 223 (2017): 277-286.
- 23 Gao Y., Wang J., Xu J., Kong X., Zhao L., Zeng D.-H. "Assessing the quality of oil-contaminated saline soil using two composite indices". *Ecol. Indic.* 24 (2013): 105-112.

G.K. Kaiyrmanova<sup>1\*</sup> , I.Swiecicka<sup>2</sup> , Sh.Zh. Tapeshova<sup>1</sup> ,  
R.B. Magmiyev<sup>3</sup> , U.T. Shaimerdenova<sup>3</sup> , K.N. Satayeva<sup>3</sup>,  
A. K. Yernazarova<sup>1,3</sup> 

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty,

\*e-mail: kaiyrman@kaznu.kz

<sup>2</sup>University of Bialystok, Poland, Bialystok

<sup>3</sup>Research Institute of Ecology, Kazakhstan, Almaty

## SCREENING OF MICROORGANISMS WITH OIL-DILUTING AND OIL-DISPLACING PROPERTIES

The article presents the results of a study of microorganisms capable of isolating target metabolites as candidate objects for the development of a microbiological method of increasing oil recovery of produced formations. The purpose of the study is the screening of microorganisms with oil-diluting and oil-displacing properties isolated from extreme conditions, i.e., developed oil layers. Microorganisms living in oil reservoirs have great biotechnological potential, producing such oil-diluting and oil-displacing metabolites as: organic acids, biosurfactants, solvents, gases. As a result of studies, it was found that of the 15 studied strains of pseudomonas, 6 strains of *Pseudomonas aeruginosa* (T1, T4, T5, T6, D1, D3) are active acid-forming agents on a minimal medium with the addition of molasses; The ability to active gas producers was revealed in 8 strains of *P. aeruginosa* (T1, T3, T4, D1, D2, D6, D8, D9); it was shown that the maximum oil emulsification index was 50.4-65% in 7 strains of *P.aeruginosa* – T5, D1, D2, D3, D7, D8 D9; The ability to active gas producers was revealed in 8 strains of *P. aeruginosa* (T1, T3, T4, D1, D2, D6, D8, D9). As a result of studying microorganisms with oil-diluting and oil-displacing properties, 5 strains of *P.aeruginosa* T1, T4, T5, D1, D3, were selected as promising microorganisms for the development of microbial enhanced oil recovery of developed oil layers.

**Key words:** microorganisms, enhanced oil recovery, emulsification index, production of gas, production of acid.

Г.К. Кайырманова<sup>1\*</sup>, И. Свециска<sup>2</sup>, Ш.Ж. Тапешова<sup>1</sup>, Р.Б. Магмияев<sup>3</sup>,  
Ұ.Т. Шаймерденова<sup>3</sup>, К.Н. Сатаева<sup>3</sup>, А.К. Ерназарова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,

\*e-mail: kaiyrman@kaznu.kz

<sup>2</sup>Белосток университеті, Польша, Белосток қ.

<sup>3</sup>Экология мәселелері ҒЗИ, Қазақстан, Алматы қ.

### Мұнайсұйылту және мұнайығыстыру қабілетті микроорганизмдердің скринингі

Мақалада өңделген пласттардан мұнай шығаруды жоғарылатудың микробиологиялық әдісін құрастыру үшін объект-кандидаттар ретінде мақсатты метаболиттерді бөлуге қабілетті микроорганизмдердің зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу жұмысының мақсаты экстремальды жағдайда, яғни, өңделген мұнайпласт суларынан бөлініп алынған мұнайсұйылту және мұнайығыстыру қабілетті микроорганизмдерінің скринингі. Мұнай пласт суларының микроорганизмдері үлкен биотехнологиялық потенциалға ие, сондай-ақ мұнайсұйылту және мұнайығыстыру метаболиттерін өндіреді, ол органикалық қышқылдар, биосурфактанттар, еріткіштер, газдар. Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша меласса қосылған минималды ортада зерттелген 15 штамм микроорганизмдерінен белсенді қышқылтүзуші 6 штамм *Pseudomonas aeruginosa* (T1, T4, T5, T6, D1, D3) анықталынды, солай дақылданған ортаның рН көрсеткіші (бастапқы 7,0 бір.) максималды төмен түсу көрсеткіші 4,1- 4,2 бір. аралығында байқалды. Максималды мұнайэмульгирлеу индексі 50,4-65 % аралығында 7 штамм *P. aeruginosa* – T5, D1, D2, D3, D7, D8, D9 клеткаларына көрсетілген және белсенді газтүзуші 8 штамм *P. aeruginosa* (T1, T3, T4, D1, D2, D6, D8, D9) анықталынды. Мұнайсұйылту және мұнайығыстыру қабілетті микроорганизмдердің скрининг нәтижелері бойынша зерттелген псевдоманадтардан 5 штаммы іріктелінді (T1, T4, T5,

D1, D3) және оларды одан әрі мұнай шығаруды жоғарылатудың микробиологиялық әдістерін құрастыру үшін перспективті микроорганизмдері ретінде зерттеуді қажет етеді.

**Түйін сөздер:** микроорганизмдер, мұнай шығаруды жоғарылату, эмульгирлеу индексі, газтүзу, қышқылтүзу.

Г.К. Кайырманова<sup>1\*</sup>, И. Свециска<sup>2</sup>, Ш.Ж. Тапешова<sup>1</sup>, Р.Б. Магмияев<sup>3</sup>,  
Ұ.Т. Шаймерденова<sup>3</sup>, К.Н. Сатаева<sup>3</sup>, А.К. Ерназарова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы,

\*e-mail: kaiyrman@kaznu.kz

<sup>2</sup>Белостокский университет, Польша, г. Белосток

<sup>3</sup>НИИ Проблем экологии, Казахстан, г. Алматы

### **Скрининг микроорганизмов с нефтеразжижающими и нефтевытесняющими свойствами**

В статье представлены результаты изучения микроорганизмов, способных к выделению целевых метаболитов как объектов-кандидатов для разработки микробиологического метода увеличения нефтеотдачи выработанных пластов. Целью исследования является скрининг микроорганизмов с нефтеразжижающими и нефтевытесняющими свойствами, выделенных из экстремальных условий, т. е. разработанных нефтепластов. Микроорганизмы, обитающие в нефтяных пластах, обладают большим биотехнологическим потенциалом, продуцируя такие нефтеразжижающие и нефтевытесняющие метаболиты как: органические кислоты, биосурфактанты, растворители, газы. В результате проведенных исследований установлено, что из 15-ти изученных штаммов псевдомонад 6 штаммов *Pseudomonas aeruginosa* (T1, T4, T5, T6, D1, D3) являются активными кислотообразователями на минимальной среде с добавлением мелассы; показано, что максимальный индекс нефтеэмульгирования составил 50,4-65 % у 7-и штаммов *P.aeruginosa* – T5, D1, D2, D3, D7, D8 D9; выявлена способность к активному газообразованию у 8-ми штаммов *P. aeruginosa* (T1, T3, T4, D1, D2, D6, D8, D9). В результате изучения микроорганизмов с нефтеразжижающими и нефтевытесняющими свойствами отобраны 5 штаммов микроорганизмов *P.aeruginosa* – T1, T4, T5, D1, D3, как перспективные микроорганизмы для разработки микробиологических методов повышения нефтеотдачи разработанных нефтепластов.

**Ключевые слова:** микроорганизмы, повышение нефтеотдачи, индекс эмульгирования, газообразование, кислотообразование.

## **Introduction**

Currently, the consumption of petroleum products is growing all over the world, and oil recovery by modern, industrially developed methods allowing to extract up to 40% of the oil contained in the fields is considered unsatisfactory. In this connection, the urgent tasks are the application of new oil production technologies that significantly increase the oil recovery of already developed formations, on which it is impossible to extract residual oil reserves [1].

Kazakhstan is experiencing a period of late stage development of oil fields, in which produced products have reached a high level of water cut (80-90%), and the volume of undeveloped oil reserves remaining in the bowels is up to 60-70% [2, 3]. In addition, most deposits in Kazakhstan are characterized by low permeability, increased oil viscosity and complex geological structure, that is, their reserves are classified as difficult to recover [4, 5].

An increase in the final coefficient of oil recovery of only 1% can provide a significant increase in annual production. One of these methods is the microbiological method [6]. Microbial enhanced oil recovery (MEOR) is currently relevant, because they have multifunctional effects on the reservoir, allowing efficient extraction of residual oil in the late stages of field development, are environmentally friendly, including microorganisms capable of directly reproducing and enhancing biochemical activity in the oil reservoir [7]. Active development of microorganisms leads to a significant increase in waste products: gases, surfactants, acids, alcohols, etc., which in turn are effective oil displacing agents [8, 9]. The growth of gas volumes and the dilution of oil contributes to an increase in pressure in the reservoir and to the additional production of oil [10, 11].

The purpose of this study is to screen microorganisms isolated from extreme conditions developed by oil strata capable of isolating oil-diluting and oil-displacing metabolites.

## Materials and research methods

We used 15 strains of *Pseudomonas aeruginosa* microorganisms (T1, T2, T3, T4, T5, T6, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9) isolated from flooded oil reservoir waters of the “Akingen” deposit, located in Atyrau region of Western Kazakhstan, 40 km from the city of Kulsary. The field was discovered in 1980, development began on September 1, 1992, and is currently in the late development stage. The depth of the productive horizons is 660-682 m, the initial reservoir pressure is 6.2 – 12.8 MPa, the temperature is 40-48° C, the oil density is 842-905 kg / m<sup>3</sup>, the oils are low-sulfur (0.15-0.28%), low-paraffin – 0.88% [12].

Microorganism strains were activated on *Nutrient Agar*, then *Nutrient Broth* was transferred to a liquid medium, and cultured at 35–40 ° C for 24–48 hours.

The work used traditional microbiological methods for the cultivation of microorganisms under aero- and anaerobic conditions: the surface method of inoculation on solid media, inoculation in a liquid medium (inoculum was 10% vol. from the medium). To obtain the biomass of strains of microorganisms, synthetic medium E8 was used with the addition of molasses at a concentration of 10% vol. [13]. The pH of the medium was determined by the potentiometric method, gas formation was performed by the “floats” method, the emulsification index was determined by the Cooper method [14, 15]. Statistical calculations were performed using the Microsoft Excel – 2019 application programs in the Windows environment.

## Research results and discussion

The main objective of increasing oil recovery is to reduce the viscosity of oil and enhanced the pressure in the reservoir [16]. In biotechnologies of enhanced oil recovery, additional oil displacement is caused by the same mechanisms as with physicochemical methods, but microbial metabolites are formed directly in the pores of the reservoir, which increases the effectiveness of their effects [17, 18].

Microorganisms of the oil reservoir have great biotechnological potential, because form a number of oil-displacing – bio-surfactants, gases and oil-diluting metabolites – solvents, acids, exopolysaccharides, the appearance of which in the reservoir system is associated with aerobic – anaerobic oil degradation [19]. It is known that microbial metabolites such as organic acids are capable of dissolving calcite of oil reservoirs, increasing the porosity and permeability of rocks and thereby provide addi-

tional oil displacement [20]. In this connection, the acid formation of microorganisms was studied on E8 synthetic medium, where molasses, a waste from the food industry, was used as a carbon source in the medium [21] As a control, a variant without introducing microorganisms was used. The experiment was carried out for 10 days. Figure 1 presents the dynamics of changes in the pH of the medium during the cultivation of microorganisms on synthetic medium E8 with the addition of molasses.

It is known that a decrease in the pH of the medium during the cultivation of microorganisms is due to the production of organic acids formed in the course of their life. As can be seen in Figure 1, the maximum decrease in the pH of the medium (at the initial 7.0) is observed for 6 strains of *P. aeruginosa* (T1, T4, T5, T6, D1, D3) and is equal to 4.1-4.2 per 10 days; for 7 strains of *P. aeruginosa* (T3, D2, D4, D5, D6, D8, D9), the pH of the medium decreases to 4.3-4.7 and the minimum decrease in pH of the medium to 5.2 and 5.5 is observed for 2 strains *P. aeruginosa* – T2 and D7, respectively.

Most microorganisms grow best when the concentrations of H<sup>+</sup> and OH<sup>-</sup> ions are approximately the same and this value is close to neutral pH values. Maintaining optimal pH in the reservoir fluid in the zone of intensive development of microorganisms is important primarily for those bacteria that produce acids (lowering the pH of the medium), but do not show resistance to them. Such microorganisms include, for example, *Pseudomonas* a group of microorganisms of the aerobic zone of the developed oil layer [22]. It can be assumed that these *Pseudomonas* strains isolated from developed oil strata are more acid resistant than typical strains.

It is known that in response to the presence of oil hydrocarbons in the cultivation medium, some microorganisms synthesize surface-active substances (SAS) that can affect the process of oil displacement by the formation of tiny oil emulsions, which contributes to the dispersion of oil, increasing the bioavailability of oil hydrocarbons for microorganisms [23]. The ability of microorganisms to form surfactants was evaluated by the index of emulsification, based on the property of various microbial surfactants to form tiny emulsions at the “liquid-hydrophobic substrate” phase boundary. The determination of the emulsification index is an important characteristic of microorganism strains as surfactant producers. Bio-surfactants thin the oil, making it more mobile and reduce the tension between the oil and the reservoir [24]. Oil was used as a hydrophobic phase to determine emulsification. The change in the emulsification index was



determined after 48 hours as the ratio of the height of the emulsion layer to the total height of the liquid in the tube and expressed as a percentage [25].

When studying the oil-emulsifying properties of 15 strains of *Pseudomonas*, the option without introducing microorganisms served as a control. Table 1 presents the results of studying the emulsification index of two-day strains of microorganisms of oil reservoir water.

As can be seen in table 1, the maximum indicators of the emulsification index were detected in 7 strains of *P.aeruginosa* – T5, D1, D2, D3, D7, D8 D9 and account for 50.4-65%; in the remaining 8 strains of *P.aeruginosa*, this indicator was 10-41.6%. It is known that cultures with an emulsification index above 50% are considered promising bio-surfactant producers for the development of biotechnologies in the oil industry [26].

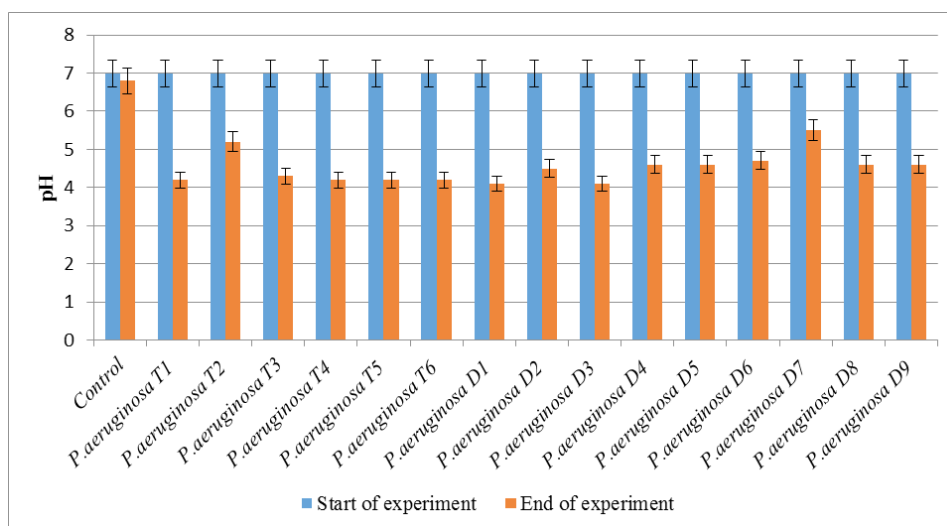


Figure 1 – Dynamics of changes in pH of the medium during the cultivation of microorganisms

Table 1 – Definition of the emulsification index

№	Strains	Emulsification Index (E48%)
1	Control	0
2	<i>P.aeruginosa</i> T1	10 ±0,5
3	<i>P.aeruginosa</i> T2	15,6±0,7
4	<i>P.aeruginosa</i> T3	10±0,5
5	<i>P.aeruginosa</i> T4	12±0,6
6	<i>P.aeruginosa</i> T5	59±2,9
7	<i>P.aeruginosa</i> T6	38±1,9
8	<i>P.aeruginosa</i> D1	63±3,1
9	<i>P.aeruginosa</i> D2	65±3,2
10	<i>P.aeruginosa</i> D3	53,8±2,6
11	<i>P.aeruginosa</i> D4	41,6±2,0
12	<i>P.aeruginosa</i> D5	21,5±1,0
13	<i>P.aeruginosa</i> D6	28,8±1,4
14	<i>P.aeruginosa</i> D7	52,5±2,6
15	<i>P.aeruginosa</i> D8	51,8±2,5
16	<i>P.aeruginosa</i> D9	50,4±2,5

To enhanced oil recovery of produced oil reservoirs, it is necessary to increase the pressure in the reservoir, because when selecting more than 25-35% of the reserves from the reservoir, the pressure in the oil reservoir decreases, therefore, when developing biotechnologies for increasing oil recovery, the gas generation property is an important sign for the selection of promising candidate strains of microorganisms [27]. Screening of microorganisms to identify the ability to gasification was carried out on a minimal synthetic medium E8 with the addition

of molasses. The experiment was carried out for 10 days. Determination of gas formation by microorganisms during the cultivation process was assessed by the gas filling of the “recessed” floats – complete flooding and “squeezing” from the medium onto the surface of the floats corresponded to the active one, half the float filling was moderate, and the small formation of gas bubbles in the float corresponded to weak gas formation.

Table 2 presents the results of gas formation of microorganisms on a synthetic medium with molasses.

**Table 2** – The dynamics of production of gases during the cultivation of microorganisms in a synthetic medium with the addition of molasses

№	Strains	The cultivation period, days											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Control	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	<i>P.aeruginosa</i> T1	-	-	-	-	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
3	<i>P.aeruginosa</i> T2	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	<i>P.aeruginosa</i> T3	-	-	-	+	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
5	<i>P.aeruginosa</i> T4	-	-	+	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
6	<i>P.aeruginosa</i> T5	-	-	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++
7	<i>P.aeruginosa</i> T6	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8	<i>P.aeruginosa</i> D1	-	-	-	+	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
9	<i>P.aeruginosa</i> D2	-	-	-	+	+	+	++	++	+++	+++	+++	+++
10	<i>P.aeruginosa</i> D3	-	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
11	<i>P.aeruginosa</i> D4	-	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
12	<i>P.aeruginosa</i> D5	-	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
13	<i>P.aeruginosa</i> D6	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
14	<i>P.aeruginosa</i> D7	-	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++
15	<i>P.aeruginosa</i> D8	-	+	++	++	++	++	++	++	++	++	+++	+++
16	<i>P.aeruginosa</i> D9	-	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Note: + weak; ++ moderate; +++ active

As can be seen, in this medium during the cultivation of all 15 microorganisms, a gas production process is observed for 8 strains of *P.aeruginosa* T1, T3, T4, D1, D2, D6, D8, D9, active, for 5 strains of T5, D3, D4, D5, D7 – moderate and two strains of T2, T6 – weak gas producers.

The analysis of the results of studying the oil-liquefying and oil-displacing properties of 15 strains of microorganisms on a minimum medium with the

addition of production waste-molasses is presented in table 3.

As a result of the screening of oil-liquefying and oil-displacing properties of 15 strains isolated from the developed oil reservoir water by the coincidence of at least two ability to maximize the release of target metabolites (organic acids, oil-bio-surfactants and biogas), selected 5 strains of *P.aeruginosa* – T1, T4, T5, D1, D3.

**Table 3** – Analysis of the study of oil-diluting and oil-displacing properties of microorganisms

№	Strains	pH of the medium at the end of the experiment (initial 7,0)	Emulsification Index (E <sub>48</sub> %)	Gas formation
1	<i>P.aeruginosa</i> T1	4,2±0,2	10 ±0,5	active
2	<i>P.aeruginosa</i> T2	5,2±0,2	15,6±0,7	weak
3	<i>P.aeruginosa</i> T3	4,3±0,2	10±0,5	active
4	<i>P.aeruginosa</i> T4	4,2±0,2	12±0,6	active
5	<i>P.aeruginosa</i> T5	4,1±0,2	59±2,9	moderate
6	<i>P.aeruginosa</i> T6	4,3±0,2	38±1,9	weak
7	<i>P.aeruginosa</i> D1	4,2±0,2	63±3,1	active
8	<i>P.aeruginosa</i> D2	4,5±0,2	65±3,2	active
9	<i>P.aeruginosa</i> D3	4,1±0,2	53,8±2,6	moderate
10	<i>P.aeruginosa</i> D4	4,6±0,2	41,6±2,0	moderate
11	<i>P.aeruginosa</i> D5	4,6±0,2	21,5±1,0	moderate
12	<i>P.aeruginosa</i> D6	4,7±0,2	28,8±1,4	active
13	<i>P.aeruginosa</i> D7	5,5±0,2	52,5±2,6	moderate
14	<i>P.aeruginosa</i> D8	4,6±0,3	51,8±2,5	active
15	<i>P.aeruginosa</i> D9	4,6±0,2	50,4±2,	active

## Conclusion

According to the result of studying the oil-diluting and oil-displacing properties of 15 strains when culturing them on a minimal medium with molasses added, it was observed that 6 strains are active acid producers: *P. aeruginosa* – T1, T4, T5, T6, D1, D3 and 8 strains are active gas producers *P. aeruginosa* – T1, T3, T4, D1, D2, D6, D8, D9. It

was established that the maximum oil emulsification index was 50.4-65% in 7 strains *P. aeruginosa* – T5, D1, D2, D3, D7, D8 D9.

As a result of the screening of the target properties of microorganisms, 5 strains *P.aeruginosa*, T1, T4, T5, D1, D3, were selected as promising microorganisms for the development of microbial enhanced oil recovery of developed oil layers and requires further study.

## References

- 1 Kurbanbayev M.I., Miroshnikov V.Ya., Tolokonsky S.I. Enhancement of oil recovery in Kazakhstan deposits // III International Scientific Symposium "Theory and Practice of Application of Enhanced Oil Recovery Techniques", September 20-21, Moscow. (2011): 243 p.
- 2 Kan S.M., Berstenov S.V. «K tekhnologii izvlechenie litiia iz plastovyykh vod mestorozhdenii nefii i gaza iuzhnogo Mangyshlaka [To technology extraction of lithium from the reservoir waters of oil and gas fields of the southern Mangyshlak] » Vestnik Nacionalnoi Akademii Nauk, no. 5 (2017): 149-155. (In Russian)
- 3 Nazina T.N., Pavlova N.K., Tatarkin Iu.V., Shestakova N.M., Babich T.L. «Mikroorganizmy karbonatnoi nefianoj zalezhi 302 Romashkinskogo mestorozhdeniia i ikh biotekhnologicheskoi potentsial [Microorganisms of carbonate oil deposits of the 302 Romashkinskoye field and their biotechnological potential] » Mikrobiologiya. 82, no. 2 (2013): 191-202. (In Russian)
- 4 Nilsen R.K., Beeder J., Thorstenson T., Torsvik T. Distribution of thermophilic marine sulfate reducers in North Sea oil field water and oil reservoirs. Appl. and Environ. Microbiol. 5, (1996): 1793-1798.
- 5 Odum J.M. The sulfate reducing bacteria: contemporary Perspectives. – Springer- Verlag: New-York Inc. 16 (1993): 290
- 6 Iagudeev R.Sh. «Opytno-promyshlennoe ispytanie novoi rasshiriaushcheisya dobavki [Pilot test of new expanding additive] » Novosti nauki Kazakhstana. 2 (2009): 33-87. (In Russian)
- 7 Beggar I., Petrisor I.G., Yen T.E. Microbial enhanced oil recovery (MEOR). Oil Science and Technology. 25 (2007): 1353-1366
- 8 Yim K.J., Song H.S., Choi J.C., Roh S.W. Thermoproteus thermophiles sp. nov., a hyper thermophilic crenarchaeon isolated from solfataric soil. Int.J. Syst. Evol. Microbiol. 65 (2015): 2507-2510.
- 9 Ismaylov N. M., Mamedyarov M.A. Experience in the development and implementation of ecology biotechnology for enhanced oil recovery in Azerbaijan. Petromicrobiology. All-union Congress, China, Yuly, 28-30, (2010) Dalian.

- 10 Francy D.S., Thomas J.M., Raymond R.L., Ward C.H. Emulsification of hydrocarbons by subsurface bacteria. *J. Ind. Microbiol.* 8 (1991): 237-246.
- 11 Nazina T. N., Sokolova D. S., Grigoryan A. A. et al., *Geobacillus jurassicus* sp. nov., a new thermophilic bacterium isolated from a high-temperature petroleum reservoir, and the validation of the *Geobacillus* species. *Systematic and Applied Microbiology*. 28, no. 1 (2005): 43-53.
- 12 Havemann G.D., Clement B.G., Kozicki K.M., Meling T., Beeder J., Sunde E. New Microbial Method Shows Promise in EOR. *JPT*. (2015): 32-35.
- 13 Netrusov A.I. «Praktikum po mikrobiologii [Microbiology Workshop] M.: Akademiia, 2005, 603. (In Russian)
- 14 Egorov N.S «Praktikum po mikrobiologii [Microbiology Workshop] » M. 1976, 307. (In Russian)
- 15 Sokolova D.Sh., Babich T.L. «Obrazovanie poverkhnostno-aktivnykh veshchestv aerobnymi bakteriiami, vydelennymi iz neftiannykh plastov [The formation of surfactants by aerobic bacteria isolated from oil reservoirs] » Aktualnye aspekty sovremennoi mikrobiologii: VIII molodezhnaia shkola- konferentsiia s mezhdunarodnym uchastiem, Ins-t mikrobiologii im. S.N. Vinogradskogo RAN, Moskva, 29-31 okt.: tezisy. MAKSPress (2012): 160-163. (In Russian)
- 16 Tanner R.S., Undegbunam E.O., McInemey M.J., Knapp R.M. Microbially Enhanced Oil Recovery from Carbonate Reservoirs. *Geomicrobiology J.* 9, no. 4 (1991): 69-195.
- 17 Kireeva H.A. «Mikrobiologicheskie protsessy v nefte-zagriaznennykh pochvakh [Microbiological processes in oil-polluted soils] » Diss. d-ra.biol.nauk / Bashkirskii gos. un-t. Ufa. 329 (1996): 72-93. (In Russian)
- 18 Koronelli T.V. «Printsipy i metody intensivatsii biologicheskogo razrusheniia uglevodorodov v okruzhaiushchei srede [Principles and methods of intensifying the biological destruction of hydrocarbons in the environment]» *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiya*. 32, no 6, (1996): 579-585. (In Russian)
- 19 Bryant R.S. et al. Microbial Enhanced Water flooding: Mink Unit Project. *SPE Reservoir Engineering*. 5, no. 1 (1990): 9-13.
- 20 Câmara J, Sousa M, Barros Neto E, Oliveira M. Application of rhamnolipid biosurfactant produced by *Pseudomonas aeruginosa* in microbial-enhanced oil recovery (MEOR). *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. (2019) [https://DOI:10.1007/s13202-019-0633-x](https://doi.org/10.1007/s13202-019-0633-x)
- 21 Kayrmanova GK, Mustapaeva Zh.O., Yernazarova AK, Amankaligyzy A. «Ekologo – funktsionalnye svoystva aborigennykh mikroorganizmov nefteplastov [Ecological – functional properties of aboriginal microorganisms of petroleum plastics]» *Vschodnioevropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) Biologia*. 7 (2016): 145-149. (In Russian)
- 22 Ismaylov N. M. Mamedyarov M.A. “Experience in the development and implementation of ecology biotechnology for enhanced oil recovery in Azerbaijan.” *Petromicrobiology* (2010) All-union Congress, China, Yuly, 28-30, Dalian.
- 23 Cusack F., Lappin-Scott H.M., Costerton J.W. Bacteria Can Plug Water flood injection wells. *Oil and Gas J.*, no. 45 (1987): 59-64.
- 24 Mamedianov M.A., Ismailov N.M. «Razrabotka i primenenie mikrobiologicheskikh metodov povysheniia nefteotdachi v Azerbaidzhane [The development and application of microbiological methods of enhanced oil recovery in Azerbaijan] » *Neft-egazovye tekhnologii* 11 (2011): 23-27. (In Russian)
- 25 Borah D, Yadav R. Bioremediation of petroleum based contaminants with biosurfactant produced by a newly isolated petroleum oil degrading bacterial strain. *Egyptian Journal of Petroleum* 26(1) (2017): 81-188.
- 26 Desai J., Banat I. Microbial production of surfactants and their commercial potential. *Microbiol and Molecular Biology Reviews* 61(1) (1997): 47-64.
- 27 Gao P, Li G, Dai X, Dai L, Wang H, Zhao L, Chen Y, Ma T. Nutrients and oxygen alter reservoir biochemical characters and enhance oil recovery during biostimulation. *World J Microbiol Biotechnol.* 29(11) (2013): 2045–2054. [https://doi:10.1007/s11274-013-1367-4](https://doi.org/10.1007/s11274-013-1367-4)

**О.Г. Чередниченко\*, И.Н. Магда, А.Л. Пилюгина, Г.М. Байгушикова,  
С.К. Нуралиев, Л.Б. Джансугурова, Н.Л. Нигай**

Институт общей генетики и цитологии КН МОН РК,  
Казахстан, г. Алматы, \*e-mail: cherogen70@mail.ru

## **ГЕНЕТИЧЕСКИЙ СТАТУС МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ, ОБИТАЮЩИХ ВБЛИЗИ МЕСТ ХРАНЕНИЯ УСТАРЕВШИХ ЗАПАСОВ ПЕСТИЦИДОВ**

Воздействие пестицидов и стойких органических загрязнителей (СОЗ) на биоту является серьезной проблемой для многих стран. В настоящее время в Республике Казахстан сосредоточены значительные объемы устаревших, не утилизированных пестицидов, которые хранятся в полуразрушенных складах, загрязняя окружающую территорию. Для изучения мутагенного воздействия пестицидов на мышевидных грызунов в 2018-19 гг. были обследованы территории вблизи пяти бывших мест складирования устаревших и запрещенных к использованию пестицидов, вблизи мест сельхозугодий, где пестициды применяли в прошлом и контрольной территории. В качестве биоиндикаторов выступили мышевидные грызуны. Показатели основных метрических и функциональных параметров индикаторных животных указывают на то, что отклонений от нормы не выявлено, и они в целом соответствуют аналогичным характеристикам этих видов животных, обитающих в Казахстане на не загрязненных территориях. Тем не менее, оценка генетического статуса мышевидных грызунов, отловленных в мониторинговых точках Бельбулак, Амангельды, Кызылкайрат, Енбекши, вблизи мест складирования старых не утилизированных пестицидов, свидетельствует о значительном увеличении частоты нарушений генетического аппарата исследованных животных. Корреляционный анализ результатов оценки степени поврежденности ДНК у мониторингового животного метода comet-test и суммарного содержания СОЗ в почве исследованных территорий выявил количественную оценку тесноты связи в 0,70 единиц, что по шкале Чеддока характеризует качественную силу связи как «замечная/высокая» и удовлетворительно описывается соответствующим полиномиальным уравнением. Выявлена статистически значимая взаимосвязь как между тест-системами, используемыми на мышевидных грызунах, так и частотой хромосомных aberrаций при анализе мутагенности проб почвы из исследованных поселков на культурах лимфоцитов человека.

**Ключевые слова:** биоиндикация, микрорядра, мышевидные грызуны, пестициды, comet-test.

O.G. Cherednichenko\*, I.N. Magda, A.L. Pilyugina, G.M. Baigushikova,  
S.K. Nuraliev, L.B. Dzhansugurova, N.L. Nigai  
Institute of General Genetics and Cytology KN MES RK,  
Kazakhstan, Almaty, \*e-mail:cherogen70@mail.ru

### **Genetic status of mice-like rodents inhabiting the area of storage of obsolete stocks of pesticides**

The impact of pesticides and persistent organic pollutants (POPs) on biota is a serious problem for many countries. Currently, the Republic of Kazakhstan has concentrated significant volumes of obsolete, non-utilized pesticides that are stored in dilapidated warehouses, polluting the surrounding area. To study the mutagenic effects of pesticides on mouse rodents in 2018-19. territories near five former storage sites of obsolete and banned pesticides were examined, near farmland areas where pesticides were used in the past and control territory. The mouse indicators were bioindicators. Indicators of the main metric and functional parameters of indicator animals indicate that no abnormalities have been identified, and they generally correspond to similar characteristics of these animal species living in Kazakhstan in non-polluted territories. Nevertheless, an assessment of the genetic status of mouse-like rodents captured at the monitoring points of Belbulak, Amangeldy, Kyzylkairat, Enbekshi, near the storage sites of old unused pesticides, indicates a significant increase in the frequency of violations of the genetic apparatus of the animals studied. A correlation analysis of the results of assessing the degree of DNA damage in monitoring animals by the comet-test method and the total POP content in the soil of the studied territories revealed a quantitative estimate of the bond tightness of 0.70 units, which on the

Cheddock scale characterizes the qualitative strength of the bond as “noticeable / high” and is satisfactorily described corresponding polynomial equation. A statistically significant relationship was found both between the test systems used on mouse rodents and the frequency of chromosomal aberrations when analyzing the mutagenicity of soil samples from the studied villages on human lymphocyte cultures.

**Key words:** bioindication, micronuclei, mouse-like rodents, pesticides, comet-test.

О.Г. Чередниченко\*, И.Н. Магда, А.А. Пилюгина, Г.М. Байгушикова,  
С.К. Нуралиев, А.Б. Джансугурова, Н.А. Нигай  
ҚР БҒМ ҒК Жалпы генетика және цитология институты,  
Қазақстан, Алматы қ., \*e-mail: chero70@mail.ru

### **Ескі пестицидтер қоймаларының жанында мекендейтін тышқан тәрізді кеміргіштердің генетикалық статусы**

Пестицидтер мен тұрақты органикалық ластағыштардың (ТОЛ-дың) зиянды әсері әлемнің барлық дерлік елдері үшін маңызды мәселе болып табылады. Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасында пестицидтердің жойылмаған, ескірген едәуір көлемі жинақталған, олар қираған қоймаларда сақталуда және сол маңдағы аймақты ластауда. Пестицидтердің тышқантәрізді кеміргіштерге мутагендік әсерін зерттеу мақсатында 2018-19 жылдары ескірген және қолдануға тыйым салынған пестицидтерді сақтайтын бұрынғы бес орынның жанында, бұрын пестицидтер пайдаланылған ауылшаруашылық алқаптарының жанында және бақылау аумағында тексеру жүргізілді. Биоиндикатор ретінде тышқан тәрізді кеміргіштер алынды. Индикаторлы жануарлардың негізгі метрикалық және функциональдық параметрлерінің мәндері нормадан ауытқулар анықталмағандығын көрсетеді, бірақ олар жалпы Қазақстанның ластанбаған аймақтарында тіршілік ететін осындай жануарларға тән сипаттамаларға сәйкес келеді. Соған қарамастан, Белбұлақ, Амангелді, Қызылқайрат, Еңбекші тексеру нүктелерінде ұстап алынған тышқан тәрізді кеміргіштердің генетикалық статусын бағалауда олардың айналмалы қанындағы эритроциттердегі микроядролар жиілігі салыстырмалы аймақтардағы кеміргіштер нәтижелерінен едәуір ерекшеленетінін және ескі жойылмаған пестицидтер қоймаларының маңындағы жерлерден ұстап алынған жануарлардың генетикалық аппаратының бұзылу жиілігінің едәуір артқандығын көрсетеді. Зерттелген бақылау нүктелерінің топырағында зерттеу алынған жануарлардағы ДНҚ-ның зақымдану дәрежесін comet-test әдісімен бағалау нәтижелерінің корреляциялық талдауы, зерттелетін бақылау топтарындағы ТОЛ-дың (тұрақты органикалық ластағыштар) жалпы құрамы 0,70 бірлік байланыстырғыштықтың сандық бағасын анықтады, бұл Чеддок шкаласы бойынша байланыстың сапалық сипаттамасына «байқалатын/жоғары» сәйкес келеді және полиномиялық теңдеумен сай келетін қанағаттанарлық деп сипатталған. Зерттелген нүктелерден алынған топырақ сынақтарының мутагендігін талдау кезінде адам лимфоциттері дақылдарындағы хромосомалық аберрациялар жиілігі мен тышқантәрізді кеміргіштерге қолданылған тест-жүйелер арасындағы статистикалық маңызды өзара байланысы анықталды.

**Түйін сөздер:** биоиндикация, микроэлементтер, тышқан тәрізді кеміргіштер, пестицидтер, comet-test.

## **Введение**

Интенсивное использование химических препаратов в сельском хозяйстве имеет как положительные (повышение урожайности), так и отрицательные стороны (загрязнение окружающей среды пестицидами и другими химическими соединениями). Пестициды используются для борьбы с насекомыми-вредителями и различными паразитами, болезнями растений, патогенными грибами, сорняками, теплокровными животными-вредителями и др. [1-4]. Обладая специфической биологической активностью, пестициды вызывают гибель не только тех организмов, против которых они направлены, но также оказывают негативное воздействие и на

другие нецелевые организмы, в том числе человека и животных [5-7]. Зачастую наблюдается нарушение технологии хранения и применения пестицидов, поэтому значительная их часть не достигает целевых объектов подавления и наносит огромный вред окружающей среде.

Пестициды со свойствами СОЗ в Казахстане никогда не производились и в настоящее время не импортируются, но значительные количества СОЗ, ранее используемых в бывшем СССР, привели к накоплению значительного количества морально и физически устаревших химикатов, несущих реальную опасность для окружающей среды [8-10].

По данным Министерства сельского хозяйства на июль 2012 г. на складах различных

областей республики хранилось около 6 931,4 т устаревших, непригодных, запрещенных к использованию пестицидов [11]. При определении содержания хлорорганических пестицидов в почве вокруг территорий 64 бывших хранилища пестицидов в Алматинской области установлено, что почва вокруг 24 бывших складов загрязнена метаболитами 2,4-ДДД; 4,4-ДДД; 4,4-ДДТ; 4,4-ДДЭ и изомерами  $\alpha$ -ГХЦГ;  $\beta$ -ГХЦГ и  $\gamma$ -ГХЦГ [11-13], концентрации которых превышают ПДК, в некоторых местах – до 114 раз. Известно, что они являются высокотоксичными препаратами с выраженной кожно-резорбтивной токсичностью, вызывают мутагенные, антимитотические и эмбриотоксические эффекты [7, 14]. Одним из самых опасных проявлений пестицидов при воздействии на живые организмы является их мутагенная и комутагенная активность. В результате накопления данных по исследованию пестицидов некоторые из них, которые оказались особенно опасными, в том числе, и как мутагенные агенты, были запрещены. Однако их остатки далеко не всегда утилизированы и до сих пор хранятся в полуразрушенных складах, загрязняя окружающую территорию.

Вопросы захоронения пестицидов в Казахстане не в полной мере решаются, потому что отсутствует объективная информация о степени загрязнения почв пестицидами, о местах расположения бывших хранилищ химических средств защиты растений, хотя исследования отдельных мест расположения устаревших запасов пестицидов были проведены [11-14].

Современная экология для диагностики состояния окружающей среды все чаще ориентируется на использование видов-биоиндикаторов [15]. Одним из основных модельных видов животных в популяционно-биологических исследованиях являются мышевидные грызуны в силу их повсеместного распространения, многочисленности, обитания на относительно ограниченной территории и тесной связи с почвой. Для оценки экологического состояния окружающей среды исследуют такие виды как домовая и лесная мышь, серый хомячок, полевка обыкновенная и др. При этом, одним из показателей воздействия антропогенных факторов, которые генерируют значительные изменения генотипа, состояния организма и экосистемы в целом, является цитогенетический гомеостаз [16]. Охарактеризовать его можно с помощью микроядерного теста, заключающегося в подсчете частоты клеток с микроядрами [17, 18] и другими цитологическими нарушениями клеток кро-

ви. Также в экологических исследованиях все шире используется метод comet-test, основанный на электрофорезе ДНК отдельных клеток, для оценки степени поврежденности клеточной ДНК, которая тесно связана с длинным хвостом «кометы» и содержанием в ней ДНК [19, 20].

### Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись природные популяции мышевидных грызунов (*Microtus arvalis* – полевка обыкновенная, *Mus musculus* – домовая мышь, *Apodemus sylvaticus* – мышь лесная, *Cricetulus migratorius* – серый хомячок), обитающих вблизи мест хранения устаревших запасов пестицидов в обследованных населенных пунктах – Бескайнар, Кызылкайрат, Амангельды, Бельбулак, Енбекши. В качестве регионов сравнения использованы п. Таукаратурык, где пестициды применяли более 20 лет назад, и п. Басши (Национальный парк Алтын-Эмель).

Материалом для исследований явились пробы почвы и природной воды из мониторинговых зон Алматинской области Талгарского (пп. Кызылкайрат, Бескайнар, Бельбулак, Амангельды, Енбекши), Енбекши-Казахского (п. Таукаратурык) и Кербулакского (п. Басши) районов. Пробы отбирали в местах обнаружения запасов устаревших неутилизированных пестицидов, и мест расположения бывших хранилищ пестицидов.

Отбор проб почв проводился по методике, соответствующей ГОСТ 14.4.4.02-84, ГОСТ-29269-91, с отбором образцов глубиной от 0 до 25 см. Для химического анализа брали пробы почвы весом не менее 1 кг. Пробы нумеровали с указанием даты и места отбора. Собранные таким образом пробы транспортировались к месту проведения дальнейших анализов.

Химический анализ проб почв проведен в Испытательной лаборатории ТОО «Научный аналитический центр» на содержание 24 пестицидов и продуктов их распада (гексахлорбензол (ГХБ);  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -изомеры гексахлорциклогексана (гексахлоран, ГХЦГ); гептахлор; альдрин; гептахлорэпоксид; хлордан; эндосульфат 1; эндосульфат 2; дихлордифенилтрихлорметилметан (ДДТ); 4,4'-Дихлордифенилдихлорэтилен (ДДЭ); дихлордифенилдихлорэтилен (ДДД); 2,4'-ДДД; дельдрин; хлорбензилат; эндрин; эндрин альдегид; эндосульфансульфат; дибутилэндан; метоксихлор; гексабромбензол) с пробоподготовкой образцов почвы в соответствии с ГОСТ 29269-91 Почвы. Общие требования к проведению анализов.

Для определения пестицидов и продуктов их распада в образцах почвы использовали метод газовой хроматографии и масс-спектрометрии. Для работы использовали хроматограф «Agilent 6890N» с MSD 5975C (США), анализатор жидкости «Флюорат-02» и масс-спектрометр (ВЭЖХ АСМЕ 9000 с UV/VIS Detector). Работы проведены согласно международным, российским и казахстанским стандартам: ГОСТ Р 53217-2008 (ИСО 10382:2002) Качество почвы. Определение содержания хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов. Газохроматографический метод с электрозахватным детектором. Предел обнаружения для почвы 0,0001 мг/кг.

Организационно-методическая работа проведенного исследования была ориентирована на поиск доступных мест сбора эколого-фаунистических материалов (мышевидные грызуны).

Для оценки состояния животных этой группы определяли морфофункциональные (экстерьерные и интерьерные) характеристики [1], которые представляют совокупность показателей особей каждого индикаторного вида, отловленных в летний сезон и обитающих в местах относительно удаленных друг от друга. Определение экстерьерных характеристик осуществляли по схеме метрических показателей животных:  $p$  – вес (г),  $l$  – длина тела и  $s$  – хвоста,  $a$  – высота уха,  $pl$  – длина стопы (в мм). Экстерьерные показатели характеризуют видовые особенности габитуса животных в определенных условиях обитания.

Функциональные характеристики (интерьерные) определяли по индексам внутренних органов (отношение массы органа к весу тела, %):  $il$  – печень,  $ih$  – сердце,  $ik$  – почки и  $is$  – селезенка. Данные показатели служат отражением особенностей физиологического состояния для каждого вида животных, связанного главным образом с уровнем основного обмена, со спецификой питания, возрастом, сезоном и географическим местом обитания.

Для анализа степени повреждающего воздействия СОЗ на геном биоиндикаторов был произведен отлов мониторинговых животных (мышевидных грызунов), обитающих на мониторинговых участках, и взяты биологические образцы (периферическая кровь) для проведения микроядерного анализа эритроцитов и comet-test на лимфоцитах.

Препараты мазков периферической крови готовили общепринятым методом в полевых условиях. Дальнейшую обработку препаратов про-

водили в лабораторных условиях. Высушенные мазки периферической крови в течение 30 минут фиксировали в 96% этиловом спирте, высушивали и окрашивали 20 минут по Романовскому-Гимза. Учет частоты микроядер проводили на микроскопе Zeiss Axioscop 40 под масляной иммерсией с увеличением 10x100. Проводили фотодокументирование наиболее характерных нарушений эритроцитов. На каждую исследованную особь просматривали от 10000 до 20000 эритроцитов.

При анализе поврежденности ДНК в comet-test уровень повреждений ДНК оценивается по количеству ДНК, мигрировавшей из клетки, и расстояние ее миграции при электрофорезе иммобилизованных в агарозу единичных клеток [19-20]. При проведении анализа 20 мкл суспензии клеток смешивали со 100 мкл 1%-ного раствора легкоплавкой агарозы (тип IV) в фосфатно-солевом буфере (рН 7,4) и наносили на предметные стекла, предварительно покрытые 1%-ным слоем тугоплавкой агарозы (тип I), при температуре 42 °С. Для лизирования клеток слайды переносили в холодный лизирующий буфер (2,5 моль/л NaCl, 100 мл Na<sub>2</sub>EDTA, 20 моль/л трис-HCl с рН10, 1%, тритон X-100 и 10% диметилсульфоксид (ДМСО) на 2 ч. После лизиса клеток слайды помещали в холодный (4 °С) щелочной буфер с рН ≥13 на 20 мин. Электрофорез проводили в щелочном буфере при напряжении 28 В при силе тока 300 мА в течение 20 мин. Для окраски ДНК использовали SYBRGreenI («Sigma»). Визуализацию ДНК-комет проводили под микроскоп с оценкой величины «момента хвоста» Оливе (МХО). Микроскопический анализ полученных препаратов проводили под флуоресцентным микроскопом с увеличением x200–400. От каждого животного анализировали не менее 50 ДНК-комет в нескольких повторах без наложений хвостов.

Для изучения спектра повреждений была использована градация по количеству деградированной ДНК. Класс  $C_0$  – практически неповрежденные клетки (5% ДНК в «хвосте»),  $C_1$  – низкий уровень повреждения (5-20 %),  $C_2$  – средний уровень повреждения (20-40 %),  $C_3$  – высокий уровень повреждения (40-95 %),  $C_4$  – полностью поврежденные клетки (более 95 %) [19].

Степень поврежденности ДНК выражали как индекс ДНК-комет ( $I_{\text{ДНК}}$ ), определяемый по формуле:

$$I_{\text{ДНК}} = (0n_0 + 1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4) / \Sigma,$$



где:  $n_0-n_4$  – число «ДНК-комет» каждого типа,  $\Sigma$  – сумма подсчитанных «ДНК-комет» [21].

Полученные результаты обрабатывали традиционными методами вариационной статистики (вычисление средних значений вариационного ряда, ошибки средних значений, оценка разности выборочных средних, критерий достоверности разности средних (критерий Стьюдента), вычисление коэффициента корреляции) [22].

### Результаты исследования и их обсуждение

При обследовании 5-ти мест расположения устаревших запасов пестицидов, одного участ-

ка, где пестициды применяли в прошлом, и контрольного участка были выполнены работы по изучению состояния индикаторных видов млекопитающих (мышевидные грызуны) и определены морфофункциональные показатели каждого вида.

В таблице 1 приведены экстерьерные и интерьерные показатели трех видов мышевидных грызунов мониторинговых участков Алматинской (2019 г.). Для сравнения приведены данные по изучению аналогичных видов, обитающих в Восточно-Казахстанской (г.Курчум) (2010 г.) и Карагандинской областях (север, 2008 г.).

Таблица 1 – Сравнительные экстерьерные и интерьерные показатели мышевидных грызунов

Территории	Вид	p	l	c	pl	a	il	ih	ik	is
Мониторинговые территории Алматинской области	<i>Apodemus sylvaticus</i>	19,33	95,75	83,50	20,25	13,25	49,31	6,97	6,71	3,66
	<i>Mus musculus</i>	16,00	84,00	55,18	16,27	12,55	49,63	7,44	7,75	2,65
	<i>Cricetulus migratorius</i>	32,90	100,00	22,00	16,00	14,00	67,14	5,78	6,84	1,67
ВКО, г.Курчум	<i>Apodemus sylvaticus</i>	20,43	88,67	79,17	19,50	13,33	47,00	5,62	5,20	1,80
	<i>Mus musculus</i>	15,86	81,14	53,86	16,57	12,86	47,52	7,26	7,86	2,60
	<i>Cricetulus migratorius</i>	31,05	99,50	17,50	15,25	15,50	52,03	5,51	5,02	2,62
Карагандинская область (север)	<i>Mus musculus</i>	13,49	74,65	58,12	16,00	12,00	51,93	7,26	7,49	2,74

Примечание: p – вес животного(г); l – длина тела; c – длина хвоста; a – высота уха; pl – длина стопы (мм). Индексы внутренних органов: il – печень, ih – сердце, ik – почки и is – селезенка (%)

Из полученных данных следует, что грызуны имеют соответствующий конкретному виду разнородный габитус, и в силу сезонных причин представляют совокупность разновозрастных особей. Экстерьерные показатели и их средние значения укладываются в границы пределов варьирования для данных видов грызунов в Казахстане. Также определены индексы печени, сердца и почек, селезенки животных, отловленных на разных мониторинговых участках. Показана вариабельность индексов внутренних органов грызунов, как показателей их физиологического состояния, отражающая главным образом характер питания и уровень основного обмена для каждого вида.

Таким образом, изученные особи грызунов, обитающие на мониторинговых участках, в целом соответствуют экологическим и полевым

характеристикам, приводимым в сводке «Млекопитающие Казахстана и Книге генетического фонда Казахстана» [23-26]. Установленные экологические показатели и значения основных метрических и функциональных параметров изученных животных указывают на то, что отклонений от нормы не установлено, и они в целом соответствуют аналогичным характеристикам этих видов животных, обитающих в Казахстане.

Для выявления мутагенного воздействия пестицидов на живые организмы в качестве биомаркера использовали микроядерный тест на эритроцитах периферической крови мышевидных грызунов, обитающих вблизи мест хранения запрещенных и не утилизированных пестицидов.

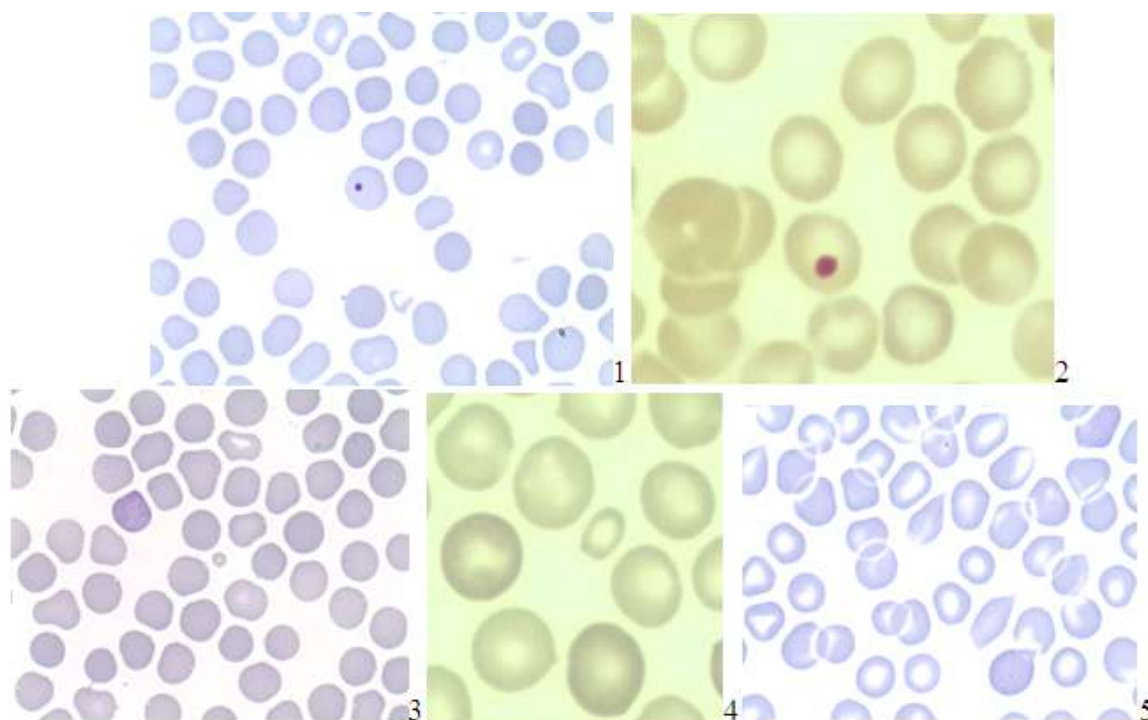
Микроядерный тест у мышевидных грызунов можно проводить в клетках любой про-

лиферирующей ткани, однако легче всего их выявлять в эритроцитах (клетках крови без основного ядра), тем более, что кровь наиболее доступная ткань для исследования и как правило, не требует умерщвления животного. Эритроциты крови в образце классифицируются на полихроматофильные (незрелые) или нормохромные (зрелые). При оценке острого воздействия предпочтительнее оценивать частоту микроядер в полихроматофильных эритроцитах, а при проведении экологического мониторинга или исследовании хронического воздействия в общей популяции эритроцитов периферической крови. Средняя продолжительность жизни эритроцитов составляет 3-4 месяца, что позволяет наиболее полно оценить воздействие исследуемых факторов. Так как эритроциты периферической крови млекопитающих являются безъядерными, основным типом цитогенетических нарушений являются микроядра, которые в микроскопе видны как округлые или овальные разных размеров густо окрашенные тельца с четким контуром. Так как эритроциты представляют собой последний

этап эритропоэза, являясь конечным продуктом нескольких делений бластных клеток, после последнего митоза основное ядро выталкивается, при этом микроядра, являющиеся следствием хромосомных нарушений в эритробластных клетках, остаются в цитоплазме. Анализ и количество микроядер в эритроцитах может не только прямо, но и косвенно зависеть от дозы воздействующих агентов. Низкие дозы генотоксикантов индуцируют микроядра без изменения соотношения нормохромных и полихроматофильных эритроцитов, высокие – существенно уменьшают долю незрелых форм [27].

Из цитологических нарушений были зафиксированы эритроциты нестандартного размера, как правило, это маленькие (микроциты) или большие (макроциты) эритроциты и, в отдельных случаях пойкилоцитоз – изменение нормальной формы, толщины, объема клеток (рисунок 1).

Результаты цитогенетического анализа эритроцитов мышевидных грызунов во всех мониторинговых точках представлены в таблице 2.



1, 2 – микроядра в эритроцитах, 3, 4 – эритроциты нестандартного размера, 5 – измененная форма эритроцитов, увеличение 16 x 100

**Рисунок 1** – Препараты эритроцитов периферической крови мышевидных грызунов с различными типами нарушений

**Таблица 2** – Результаты цитогенетического анализа эритроцитов мышевидных грызунов, отловленных вблизи мест хранения старых, не утилизируемых пестицидов

Место отлова	Кол-во просм. кл	Всего м/я	м/я, %	2 м/я, %	Нестандартные эритроциты
п.Бескайнар	60000	0,14±0,012	0,11±0,012	0,016±0,004	
п.Кызылкайрат	80000	0,36±0,022*	0,23±0,013	0,065±0,007	
п.Амангельды	50000	0,40±0,022*	0,38±0,022	0,012±0,005	0,01±0,003
п.Бельбулак	70000	0,41±0,024*	0,39±0,024	0,01±0,004	0,006±0,003
п.Енбекши	50000	0,38±0,022*	0,38±0,022		0,1±0,012
п.Таукаратурык	80000	0,054±0,008	0,054±0,008		
п.Басшы (контроль)	60000	0,03±0,007	0,03±0,007		0,095±0,012
Примечание: * $p \leq 0,01$					

Частота микроядер в эритроцитах периферической крови мышевидных грызунов, отловленных в мониторинговых точках Бельбулак, Амангельды, Кызылкайрат, Енбекши, находится примерно на одном уровне (0,36-0,41%), при этом она достоверно ( $p \leq 0,01$ ) отличается от результатов, полученных при анализе грызунов, отловленных в регионах сравнения – п. Басшы (0,03%) и п. Таукаратурык (0,054%). Это свидетельствует о значительном увеличении частоты нарушений генетического аппарата исследованных животных, обитающих вблизи мест складирования старых не утилизируемых пестицидов. Примерно в 30% случаев микроядра имели довольно крупные размеры, также были зарегистрированы эритроциты с двумя микроядрами. В некоторых работах показано, что в эритроцитах белых беспородных мышей выявляется примерно  $0,025 \pm 0,011\%$  микроядер [28,

29], что соответствует полученным данным из групп сравнения и свидетельствует о значительном увеличении частоты нарушений генетического аппарата исследованных животных вблизи мест складирования старых не утилизируемых пестицидов.

Оценку степени поврежденности ДНК у мониторинговых животных проводили методом comet-test, который, согласно данным литературы, широко используется в экологических исследованиях [30-33].

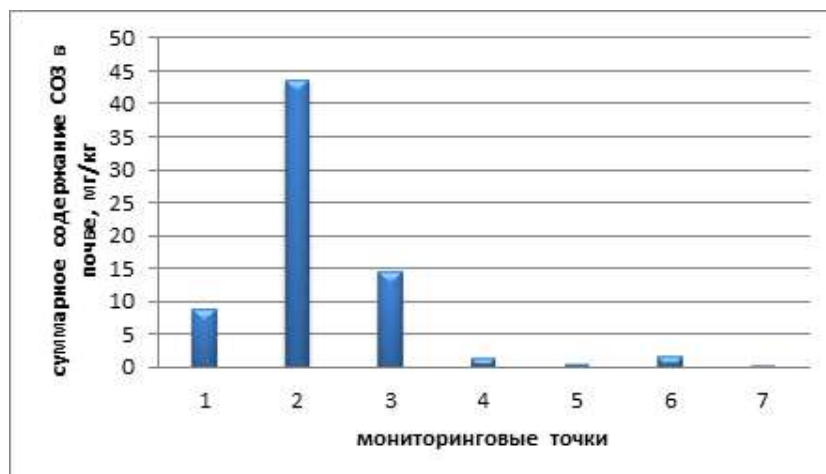
Для оценки степени поврежденности ДНК использовали критерий – индекс ДНК-комет ( $I_{\text{ДНК}}$ ). Задача исследований состояла в том, чтобы выяснить степень спонтанного уровня поврежденности генома в клетках периферической крови мониторинговых животных. В таблице 3 представлены полученные результаты.

**Таблица 3** – Изучение степени спонтанного уровня поврежденности генома у мышевидных грызунов методом comet-test

Место отлова	Просмотрено клеток	$I_{\text{ДНК}}$
Бескайнар	140	2,04
Кызылкайрат	134	3,11
Амангельды	245	2,58
Бельбулак	190	2,28
Енбекши	206	2,70
Таукаратурык	173	1,74
Басшы	167	1,44

При проведении comet-test на лимфоцитах мышевидных грызунов, отловленных во всех мониторинговых точках со складированием пестицидов, показано, что принципиальной разницы в генотоксическом эффекте животных по поселкам не наблюдается. Тем не менее, показателем наличия и степени генотоксического эффекта при использовании comet-test является индекс повреждения (ИП), который вычисляется по формуле:  $ИП = \frac{\langle I_{\text{днк}} \rangle (\text{опыт})}{\langle I_{\text{днк}} \rangle (\text{контроль})}$ .  $ИП \geq 2,0$ , указывает на проявление генотоксического эффекта [34]. Таким образом, генотоксический эффект у мышевидных грызунов в исследованных мониторинговых точках по сравнению с Алтын-Эмель (регион сравнения) выявлен только для животных, отловленных в районе п. Кызылкайрат.

В отобранных пробах почвы из 5-ти мест расположения складов устаревших пестицидов и 2-х мест сравнения определяли содержание 24 хлорорганических пестицидов (СОЗ) и их метаболитов. На рисунке 2 отражено суммарное содержание СОЗ в образцах почвы, взятых возле разрушенных складов пестицидов обследованных населенных пунктов. При исследовании проб почвы было установлено, что вокруг территорий бывших хранилищ пестицидов почва имеет поликомпонентное загрязнение. Основными загрязнителями почвы при этом являются ДДТ (0,1402-6,98790 мг/кг) и его метаболиты 4,4ДДД (0,0117-39,1537 мг/кг) и ДДЭ (0,1402-6,9879 мг/кг) и дельдрин (0,0036-0,289 мг/кг). Также собранные образцы почвы содержали  $\beta$ -ГХГ, альдрин, дибутилэндан, эндосульфансульфат, гептахлорэпоксид, дельдрин, эндрин, хлорбензилат.



Мониторинговые точки: 1 – Бескайнар, 2 – Кызылкайрат, 3 – Амангельды, 4 – Бельбулак, 5 – Енбекши, 6 – Таукаратурык, 7 – Алтын-Эмель

**Рисунок 2** – Суммарное содержание СОЗ в почве в исследованных мониторинговых точках

Установлено, что во всех пробах общее количество пестицидов в почве превышает ПДК. Наиболее загрязненными пестицидами оказались пробы почвы, взятые с территорий бывших хранилищ пестицидов, расположенных в селах Кызылкайрат, Амангельды и Бескайнар. В п. Кызылкайрат концентрация пестицидов в почве превышала ПДК в 60-120 раз. Концентрация СОЗ-пестицидов в пробах почвы, взятых с территорий бывших хранилищ пестицидов, расположенных в селах Белбулак и Амангельды, также превышала ПДК в 9-15 раз. В п. Таукаратурык, где более 20 лет на бывших сельхозугодьях уже

не применяют пестициды, концентрация отдельных СОЗ-пестицидов в почве превысила ПДК в 17 раз. Следует отметить, что соотношение ДДТ и его производных позволяет приблизительно оценить время появления и разложения остаточных концентраций пестицидов, содержащихся в почвах. Таким образом, соотношение  $(DDE + DDD) / DDT > 1$  указывает на «старое» использование ДДТ и его активное превращение микроорганизмами.

На основании имеющихся данных проведен корреляционный анализ результатов микроядерного анализа, оценки степени по-

врежденности ДНК у мониторинговых животных comet-test и суммарного содержания СОЗ в почве исследованных мониторинговых точек. Корреляционный анализ между частотой микроядер и содержанием СОЗ составил 0,36. Связь в данном случае слабая. Статистическая обработка результатов comet-test и суммарного содержания СОЗ выявила количественную оценку тесноты связи в 0,70 единиц. По шкале Чеддока это значение соответствует качественной характеристике силы связи как «заметная/высокая». При этом она удовлетворительно описывается полиномиальным уравнением  $y = 26,13x^2 - 99,22x + 93,17$ , с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,73$ . Полученные данные свидетельствуют об общем соответствии уровня пестицидной загрязненности изучаемых территорий, результатам анализов с помощью биоиндикаторов.

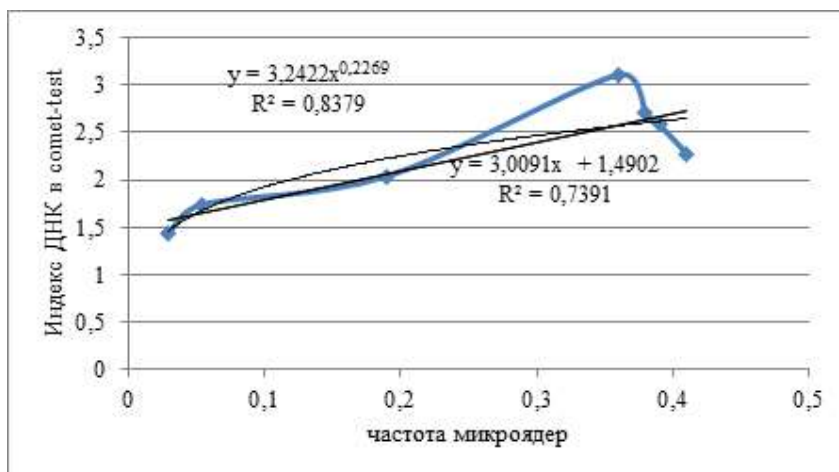
Исследования чувствительности и корреляции между тест-системами, которые применяют для анализа потенциальной опасности пестицидов, имеют фундаментальное значение для более точной оценки экологических рисков, а также для экстраполяции данных на другие не целевые организмы, в том числе и на человека. Чувствительность применяемых тест-систем различна и зависит не только от его разрешающей способности (например, у мышей карбосульфат вызывал значимое повышение частоты хромосомных нарушений в 7 раз (5 мг/кг массы тела), а частоты полихроматофильных эритроцитов с микроядрами в 3,5 раза при той же дозе [35]. В связи с этим при использовании одной тест-системы мутагенную активность выявляют примерно у 40-50% исследуемых пестицидов, тогда как пять тест-систем позволяют обнаружить мутагенную активность у более чем 90% изучаемых пестицидов [36]. Поэтому не существует единого метода, позволяющего однозначно оценить генотоксический потенциал исследуемого агента, что делает необходимым использование комплекса методов, выполняемых на разных тест-объектах *in vitro* и *in vivo* (от микроорганизмов и высших растений до культур клеток человека и животных).

Также большое значение имеет состав компонентов препаративной формы и совместное применение различных препаратов, как это обычно происходит на практике. Это зачастую приводит к синергидному действию пестицидов. Так, дельтаметрин и тиаклоприд индуцировали значимое увеличение частоты микроядер и хро-

мосомных aberrаций в клетках костного мозга крыс. А их комбинация вызывала еще большее генотоксическое действие, чем каждый из них по отдельности [37]. Или, ранее широко применяемые пестициды – паратион-метил и карбофуран в виде отдельных соединений не оказывали генотоксического действия на клетки кератиноцитов человека *in vitro*, а их комбинация вызывала явно выраженный синергетический генотоксический эффект при оценке методом comet-test [38].

В комплексном мониторинге загрязнения территорий бывших хранилищ пестицидов Алмагинской области, в рамках которого проведено данное исследование, кроме микроядерного и comet-test, на мышевидных грызунах использовали также тест Эймса, Allium-test, систему *Drosophila melanogaster*, микроядерный тест на других биоиндикаторах, *in vitro* тесты – культуры лимфоцитов человека и животных. Все эти тесты показали схожую ранговую степень загрязнения поселков, согласно химическому анализу почв, не смотря на их разную чувствительность. Выше уже было сказано о важности корреляции между тест-системами для экстраполяции данных, например, на нецелевые организмы, подвергающиеся воздействию пестицидов. Поэтому проведен корреляционный анализ результатов comet-test и микроядерного теста проведенных на мышах. Он показал их достоверную взаимосвязь – 0,85,  $p \leq 0,01$  и может достаточно точно описываться степенным и линейным уравнениями (Рис. 3).

Из значимых значений корреляций с использованием разных тест-объектов следует отметить взаимосвязь между частотой хромосомных aberrаций при анализе образцов почв на культурах лимфоцитов человека и частотой микроядер в эритроцитах грызунов (0,90,  $p \leq 0,01$ ) и comet-test (0,70). Также согласно данным литературы, хорошую корреляцию с тестами, применяемыми на млекопитающих, показывает Allium-test. Так, Rank and Nilsen показали корреляцию в 82% в отношении теста на канцерогенность у грызунов и Allium-test [39]. В нашем исследовании небольшая корреляция в 0,50 была показана только между comet-test на мышевидных грызунах и результатами Allium-test в исследовании природной воды из исследуемых поселков. Некоторые авторы эту некорреляцию связывают с ферментативной активностью процесса детоксикации экзогенных веществ и репарации ДНК, которые менее актуальны в растительных клетках, чем у млекопитающих [40].



**Рисунок 3** – Анализ корреляционной зависимости результатов comet-test и микроядерного теста

Проблемы, связанные с влиянием пестицидов, связаны не только с их общетоксическим действием, но и с отдаленными последствиями, спектр которых в научной литературе постоянно расширяется. Кроме мутагенного и канцерогенного эффектов сообщается также об иммунотоксических эффектах [41], а также об эпигенетических изменениях [42]. При этом даже микродозы пестицидов, которые не превышают ПДК, в условиях хронического поступления, подавляют жизненно важные функции организма [43] и отсутствие интоксикации не является свидетельством невозникновения изменений на более тонком уровне. В нашем исследовании, даже при отсутствии изменений морфофункциональных показателей у мышевидных грызунов, обитающих на территории, загрязненной пестицидами, выявляется генотоксический эффект.

### Заключение

Оценка генетического статуса мышевидных грызунов, отловленных в мониторинговых точках, вблизи складов устаревших пестицидов, выявила достоверно повышенную частоту микроядер в эритроцитах периферической крови, несмотря на отсутствие морфо-функциональных изменений у обследованных животных. Резуль-

таты исследования степени антропогенного воздействия на мышевидных грызунов при оценке экологического состояния микроядерным и comet тестами, вокруг бывших мест складирования старых не утилизированных пестицидов, соответствуют химическому загрязнению почв в мониторинговых точках, т.е. мыши являются чувствительными биоиндикаторами загрязнителей почвы. Несмотря на корреляцию между некоторыми тест-объектами, использование различных систем тестирования важно для более полной оценки различных аспектов действия агента, таким образом, получая полный обзор вызываемых им эффектов и степени их опасности.

**Конфликт интересов.** Все авторы ознакомлены с содержанием статьи и не имеют конфликта интересов.

**Источник финансирования.** Работа выполнена при поддержке Национальной программы грантов Казахстана на 2018-2020 годы. Финансирование предоставлено Министерством образования и науки Республики Казахстан в рамках НТП: №BR05236379 «Комплексная оценка влияния неутилизированных и запрещенных к использованию пестицидов на генетический статус и здоровье населения Алматинской области».

### Литература

- 1 Федоров Л.А., Яблоков А.В. Пестициды – токсический удар по биосфере и человеку. – М.: Наука, 1999. – 462 с.
- 2 Nag S.K., Raikwar M.K. Persistent organochlorine pesticides residues in animal feed // *Environ. Monit. Assess.* – 2011. – V.174. – P.327–335.
- 3 Nougadère A., Sirot V., Kadar A. et al. Total diet study on pesticide residues in France: levels in food as consumed and chronic dietary risk to consumers // *Environ. Int.* – 2012. – V.45. – P.135–150.
- 4 Witczak A., Abdel-Gawad H. Assessment of health risk from organochlorine pesticides residues in high-fat spreadable foods produced in Poland // *J. Environ. Sci. Health.* – 2014. – V.49. – P.917–928.
- 5 Sponsler D.B., Grozinger C.M., Hitaj C., Rundlöf M., Botiase C., Codef A., Lonsdorf E.V., Melathopoulos A.P., Smith D.J., Suryanarayanan S., Thogmartin W.E., Williams N.M., Zhangk M., Douglas M.R. Pesticides and pollinators: A socioecological synthesis // *Science of The Total Environment.* – 2019. – Vol. 662. P. 1012-1027. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.016>
- 6 Zikankuba V.L., Mwanyika G., Ntwanya J.E., James A., Yildiz F. Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety // *Cogent Food & Agriculture.* – 2019. – Vol. 5. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1601544>
- 7 Philip J., Landrigan M.D., Benbrook Ch. Perspective GMOs, Herbicides, and Public Health // *The New England Journal of Medicine.* – 2015. – V.373. – P.693-695.
- 8 Kaur R., Kaur M.G., Raghav Sh. Pesticides Classification and its Impact on Environment // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.* – 2019. – V. 8(3). P. 1889-1897.
- 9 Wanga R., Yuan Y., Yen H., Grieneisen M., Arnold J., Wang D., Wang Ch., Zhanga M. A review of pesticide fate and transport simulation at watershed level using SWAT: Current status and research concerns // *Science of The Total Environment.* – 2019. – Vol. 669. P. 512-526. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.141>
- 10 Беркинбаев Г.Д. Мониторинг стойких органических соединений в окружающей среде в Казахстане // *Экология и промышленность Казахстана.* – 2012. – №4. – С. 36-41.
- 11 Nurzhanova A. et al. Phytoremediation of contaminated soil in Kazakhstan // *Application of Phytoremediation for Cleanup of Industrial, Agricultural and Wastewater Contamination.* Eds P.A. Kulakow, V.V. Pidlisnyuk. Springer Science + Business Media. – 2010. – P. 87-109.
- 12 Nurzhanova A., Kalugin S., Zhambakin K. Obsolete pesticides and application of colonizing plant species for remediation of contaminated soil in Kazakhstan // *Environmental Science and Pollution Research.* – 2013. – Vol 20(4). – P. 2054-2063.
- 13 Nurzhanova A., Kulakow P.A., Rubin E., Rakhimbayev I., Sedlovshik A., Zhambakin K., Kalugin S., Kolysheva E., Erickson L.E. Obsolete Pesticide Pollution and Phytoremediation of Contaminated Soil in Kazakhstan // *In Application of Phytotechnologies for Cleanup of Industrial, Agricultural, and Wastewater Contamination.* – 2009. Springer, Dordrecht, The Netherlands. – P. 87-112.
- 14 Tosi S. and Nieh J.C. Lethal and sublethal synergistic effects of a new systemic pesticide, flupyradifurone (Sivantow), on honeybees // *Proceedings of the Royal Society. Biological Science.* – 2019. – Vol. 286. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2019.0433>
- 15 Замалетдинов Р. И., Хайрутдинов И. З., Балашова О. А., Гаранин В. И. Перспективы использования земноводных при оценке состояния окружающей среды на урбанизированных территориях // *Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан.* – Казань: Отечество, 2004. – С. 84-85.
- 16 Ильинских Н.Н., Ильинских И.Н., Некрасов В.Н. Использование микроядерного теста в скрининге и мониторинге мутагенов // *Цитология и генетика.* – 1983. – Т.22, №1. – С.68–72.
- 17 Favio E. Pollo, Clarisa L. Bionda Common toad *Rhinella arenarum* (Hensel, 1867) and its importance in assessing environmental health: test of micronuclei and nuclear abnormalities in erythrocytes // *Environmental Monitoring and Assessment.* – 2015. – 187:581. – P. 2-4.
- 18 Mitkovska V., Chassovnikarova T., Atanassov N., Dimitrov H. Environmental genotoxicity evaluation using a micronucleus test and frequency of chromosome aberrations in free-living small rodents // *J. BioSci. Biotech.* 2012a; 1(1): 67-71.
- 19 Struwe M, Greulich KO, Suter W, Plappert-Helbig U. The photo comet assay-A fast screening assay for the determination of photo genotoxicity in vitro // *Mutat. Res.* – 2007. – Vol. 632, № (1–2). – P. 44–57.
- 20 Mitkovska V., Chassovnikarova T., Atanasov N., Dimitrov H. DNA damage detected by Comet assay in *Apodemus flavicollis* (Melchior, 1834) from Strandzha Natural Park. *Acta zool. bulg.* 2012b; 4: 155-158.
- 21 Гурова Я.В., Мордык А.В. Проблемы генотоксичности: причины, механизм, необходимость изучения у больных туберкулезом, пути преодоления // *ЭНИ Забайкальский медицинский вестник №1/2015 С.152-160 ИДНК*
- 22 Рокицкий П.Ф. Введение в статистическую генетику. – Минск: Высшая школа, 1978. – 448 с.
- 23 Книга генетического фонда фауны Казахской ССР. Ч.1: Позвоночные животные. – Алма-Ата, 1989. – 214 с.
- 24 Млекопитающие Казахстана / Под ред. Слудского А.А., Гвоздева Е.В., Страутмана Е.И. – Алма-Ата: Наука, 1977 – 1978. Т.1. Ч.2. – 492 с.
- 25 Млекопитающие Казахстана / под ред. Слудского А.А., Гвоздева Е.В., Страутмана Е.И. – Алма-Ата: Наука, 1977. Т. I. Ч. 2. – 536 с.
- 26 Млекопитающие Казахстана / под ред. Слудского А.А., Гвоздева Е.В., Страутмана Е.И. – Алма-Ата: Наука 1980. Т. I. Ч. 3. – 492 с.
- 27 Milvia C.C., Nesti C., Muzzoli M., Pasetti P., Pinamonti S. Correlation between age and DNA damage detected by FADU in human peripheral blood lymphocytes // *Mutat. Res.* – 1996. – 316. – P. 201–208.
- 28 Дурнова Н.А., Курчатова М.Н. Влияние растительных экстрактов на индукцию микроядер циклофосфаном в эритроцитах крови беспородных белых мышей // *Цитология.* – 2015. – № 6. – С. 452-458.



- 29 Курчатова М.Н., Дурнова Н.А., Полуконова Н.В. Влияние экстрактов, содержащих биофлавоноиды, на индукцию микроядер диоксином в эритроцитах крови беспородных белых мышей // Вестник ВГУ, Серия: химия. биология. Фармация. – 2014. – № 2. – С. 58-65.
- 30 Ковалева О.А. Институт агроэкологии Украинской академии аграрных наук, Киев Цитогенетические аномалии в соматических клетках млекопитающих // Цитология и генетика. – 2008. – № 1. – С. 58-72.
- 31 Рябченко Н.Н., Антошина М.М., Насонова В.А. и др. Аберрации хромосом в лимфоцитах человека при различной продолжительности культивирования после облучения // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44, № 2. – С. 146-150.
- 32 Cerqueira E.M., Gomes-Filho I.S., Trindade S., Lopes M.A., Passos J.S., Machado-Santelli G.M. Genetic damage in exfoliated cells from oral mucosa of individuals exposed to X-rays during panoramic dental radiographies // *Mutat. Res.* – 2004. – Vol. 562, № 1–2. – P. 111-117.
- 33 Godderis L., Aka P., Mateuca R., Kirsch-Volders M., Lison D., Veulemans H. Dose-dependent influence of genetic polymorphisms on DNA damage induced by styrene oxide, ethylene oxide and gamma-radiation // *Toxicology.* – 2006. – Vol. 219, № 1–3. – P. 220-229.
- 34 Оценка генотоксических свойств методом ДНК-комет in vitro. Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 15 с.
- 35 Giri S., Giri A., Sharma G., Prasad S. Mutagenic effect of carbosulfan, a carbamate pesticide. *Mutat. Res.* 2002; 519(1-2): 75-82. doi: 10.1016/j.fct.2009.09.041
- 36 Федоров Л.А., Яблоков А.В. Пестициды – токсический удар по биосфере и человеку. М.: Наука; 1999. <http://levfedorov.ru/pest-9-4-1/>.
- 37 Şekeroğlu V., Şekeroğlu Z.A., Kefelioğlu H. Cytogenetic effects of commercial formulations of deltamethrin and/or thiacloprid on wistar rat bone marrow cells // *Environ. Toxicol.* – 2013. – Vol. 28, № 9. – P. 524—31. doi: 10.1002/tox.20746
- 38 Abhishek A., Ansari N.G., Shankhwar S.N., Jain A., Singh V. In vitro toxicity evaluation of low doses of pesticides in individual and mixed condition on human keratinocyte cell line // *Bioinformation.* – 2014. – Vol. 10, № 12. – P. 716-20. doi: 10.6026/97320630010716.
- 39 Rank J., Nielsen M.H., Evaluation of the Allium anaphase–telophase test in relation to genotoxicity screening of industrial wastewater // *Mutat. Res.* 1994. – Vol. 312. – P. 17–24.
- 40 Feretti D., Zerbini I., Ceretti E., Villarini M., C. Zani, Moretti M., Fatigoni C., Orizio G., Donato F., Monarca S. Evaluation of chlorite and chlorate genotoxicity using plant bioassays and in vitro DNA damage tests // *Water Res.* – 2008. – Vol. 42. – P. 4075–4082.
- 41 Герунов Т.В., Редькин Ю.В., Герунова Л.К. Иммунотоксичность пестицидов: роль в патологии животных и человека // *Успехи современной биологии.* – 2011. – Т. 131, № 5. – С. 474-482
- 42 Дипак Чопра, Рудольф Танзи Супергены. На что способна твоя ДНК? Litres, 2017 ISBN 5040575548, 9785040575541
- 43 Илюшина Н.А., Егорова О.В., Масальцев Г.В., Аверьянова Н.С., Ревазова Ю.А. Мутагенность и канцерогенность пестицидов, опасность для здоровья человека. Систематический обзор // *Здравоохранение Российской Федерации.* – 2017. – Т 61, № 2. – С. 96-102 DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2017-61-2-96-102>.

## References

- 1 Fedorov, L.A. and A.V. Iablokov. "Pesticides – toxic impact on the biosphere and man." *M. Science*, (1999): 462
- 2 Nag, S.K and M.K. Raikwar. "Persistent organochlorine pesticides residues in animal feed." *Environ. Monit. Assess.* 174 (2011): 327–335
- 3 Nougadère, A., Sirot, V., Kadar, A., et al. "Total diet study on pesticide residues in France: levels in food as consumed and chronic dietary risk to consumers." *Environ. Int.* 45 (2012): 135–150
- 4 Witezak, A. and H. Abdel-Gawad. "Assessment of health risk from organochlorine pesticides residues in high-fat spreadable foods produced in Poland." *J. Environ. Sci. Health* 49 (2014): 917–928
- 5 Sponsler, D.B., Grozinger, C.M., Hitaj, C., Rundlöf, M., Botiase, C., Codef, A., Lonsdorf, E.V., Melathopoulou, A.P., Smith, D.J., Suryanarayanan, S., Thogmartin, W.E., Williams, N.M., Zhang, M. and M.R. Douglas. "Pesticides and pollinators: A socioecological synthesis." *Science of The Total Environment* 662 (2019): 1012-1027
- 6 Zikankuba, V.L., Mwanyika, G., Ntwenya, J.E., James, A. and F. Yildiz. "Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety." *Cogent Food & Agriculture* 5 (2019)
- 7 Philip, J., Landrigan, M.D., and Ch. Benbrook. "Perspective GMOs, Herbicides, and Public Health." *The New England Journal of Medicine* 373 (2015): 693-695
- 8 Kaur, R., Kaur, M.G., and Sh. Raghav. "Pesticides Classification and its Impact on Environment." *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8(3) (2019): 1889-1897
- 9 Wanga, R., Yuan, Y., Yen, H., Grieneisen, M., Arnold, J., Wang, D., Wang, Ch. and M. Zhanga. "A review of pesticide fate and transport simulation at watershed level using SWAT: Current status and research concerns" *Science of The Total Environment* 669 (2019): 512-526
- 10 Berkinbaev, G.D. "Monitoring stoikikh organicheskikh soedinenii v okruzhaiushchei srede v Kazakhstane [Monitoring persistent organic compounds in the environment in Kazakhstan]." *Ecology and industry of Kazakhstan no. 4* (2012): 36-41



- 11 Nurzhanova A. et al., "Phytoremediation of contaminated soil in Kazakhstan," Application of Phytoremediation for Cleanup of Industrial, Agricultural and Wastewater Contamination, ed. P.A. Kulakow and V.V. Pidlisnyuk. (Springer Science + Business Media), (2010): 87-109
- 12 Nurzhanova A., Kalugin S. and K. Zhambakin. "Obsolete pesticides and application of colonizing plant species for remediation of contaminated soil in Kazakhstan" Environmental Science and Pollution Research, 20(4) (2013): 2054-2063
- 13 Nurzhanova A., Kulakow P.A., Rubin E., Rakhimbayev I., Sedlovshik A., Zhambakin K., Kalugin S., Kolysheva E. and L.E Erickson. "Obsolete Pesticide Pollution and Phytoremediation of Contaminated Soil in Kazakhstan" in Application of Phytotechnologies for Cleanup of Industrial, Agricultural, and Wastewater Contamination, Springer, Dordrecht, The Netherlands (2009): 87-112
- 14 Tosi S. and J.C. Nieh. "Lethal and sublethal synergistic effects of a new systemic pesticide, flupyradifurone (Sivantow), on honeybees." Proceedings of the Royal Society. Biological Science 286 (2019)
- 15 Zamaletdinov R. I., Khairutdinov I. Z., Balashova O. A., V. I. Garanin. "Perspektivy ispol'zovaniia zemnovodnykh pri otsenke sostoianiia okruzhaiushchei sredy na urbanizirovannykh territoriiakh[Prospects for the use of amphibians in assessing the state of the environment in urban areas]." Fatherland: Actual environmental problems of the Republic of Tatarstan. – Kazan (2004): 84-85
- 16 Il'inskikh N.N., Il'inskikh I.N., V.N. Nekrasov. "Ispol'zovanie mikroiadernogo testa v skrininge i monitoringe mutagenov [The use of micronucleus test in screening and monitoring of mutagens]." Cytology and Genetics 22 no.1 (1983): 68–72
- 17 Favio E. Pollo and L. Clarisa. "Bionda Common toad *Rhinella arenarum* (Hensel, 1867) and its importance in assessing environmental health: test of micronuclei and nuclear abnormalities in erythrocytes" Environmental Monitoring and Assessment. 187:581 (2015): 2-4.
- 18 Mitkovska V., Chassovnikarova T., Atanassov N. and H. Dimitrov. "Environmental genotoxicity evaluation using a micronucleus test and frequency of chromosome aberrations in free-living small rodents." J. BioSci. Biotech. 1(1) (2012a): 67-71
- 19 Struwe M, Greulich KO, Suter W and U. Plappert-Helbig. "The photo comet assay-A fast screening assay for the determination of photo genotoxicity in vitro." Mutat. Res. 632, no. (1–2) (2007): 44–57
- 20 Mitkovska V., Chassovnikarova T., Atanasov N. and H Dimitrov. "DNA damage detected by Comet assay in *Apodemus flavicollis* (Melchior, 1834) from Strandzha Natural Park." Acta zool. bulg. 4 (2012b): 155-158
- 21 Gurova Ia.V., A.V. Mordyk. "Problemy genotoksichnosti: prichiny, mekhanizm, neobkhodimost' izucheniia u bol'nykh tuberkulezom, puti preodoleniia [Problems of genotoxicity: causes, mechanism, the need to study patients with tuberculosis, ways to overcome]." ENI Trans-Baikal Medical Bulletin IDNC. no.1 (2015): 152-160
- 22 Rokitskii P.F. "Vvedenie v statisticheskuiu genetiku [Introduction to Statistical Genetics]." Higher School, Minsk (1978): 448
- 23 Pozvonochnye zhivotnye [Vertebrate animals]. Book of the genetic fund of the fauna of the Kazakhstan SSR. Alma-Ata, I (1989): 214
- 24 "Mlekopitaiushchie Kazakhstana[Mammals of Kazakhstan]." Pod.red. Sludskogo A.A., Gvozdeva E.V., E.I. Strautmana. Science, Alma-Ata, I(2) (1977 – 1978): 492
- 25 "Mlekopitaiushchie Kazakhstana[Mammals of Kazakhstan]." Pod.red. Sludskogo A.A., Gvozdeva E.V., E.I. Strautmana. Science, Alma-Ata, I(2) (1977): 536
- 26 "Mlekopitaiushchie Kazakhstana[Mammals of Kazakhstan]." Pod.red. Sludskogo A.A., Gvozdeva E.V., E.I. Strautmana. Science, Alma-Ata, I(3) (1977): 492
- 27 Milvia C.C., Nesti C., Muzzoli M., Pasetti P. and S. Pinamonti. "Correlation between age and DNA damage detected by FADU in human peripheral blood lymphocytes " Mutat. Res. 316 (1996): 201–208
- 28 Durnova N.A., M.N. Kurchatova. "Vliianie rastitel'nykh ekstraktov na induktsiiu mikroiadernykh tsiklofosfanom v eritrotsitakh krovi besporodnykh belykh myshei [The effect of plant extracts on the induction of micronuclei by cyclophosphamide in blood red blood cells of outbred white mice]." Cytology, № 6 (2015): 452-458
- 29 Kurchatova MN., Durnova N.A., N.V. Polukonova. "Vliianie ekstraktov, sodержashchikh bioflavonoidy, na induktsiiu mikroiadernykh dioksidinom v eritrotsitakh krovi besporodnykh belykh myshei [The effect of extracts containing bioflavonoids on the induction of micronuclei with dioxidine in red blood cells of outbred white mice]." Vestnik VGU, Series: chemistry, biology, pharmacy no. 2 (2014): 58-65
- 30 Kovaleva O.A. "Tsitogeneticheskie anomalii v somaticheskikh kletkakh mlekopitaiushchikh[Cytogenetic abnormalities in somatic mammalian cells]." Cytology and genetics, Institute of Agroecology, Ukrainian Academy of Agrarian Sciences, Kiev no.1 (2008): 58-72
- 31 Riabchenko N.N., Antoshchina M.M., Nasonova V.A. i dr. "Aberratsii khromosom v limfotsitakh cheloveka pri razlichnoi prodolzhitel'nosti kul'tivirovaniia posle oblucheniia[Chromosome aberrations in human lymphocytes at different cultivation durations after irradiation]." Radiation biology. Radioecology 44 no.2 (2004): 146-150
- 32 Cerqueira E.M., Gomes-Filho I.S., Trindade S., Lopes M.A., Passos J.S. and G.M. Machado- Santelli. "Genetic damage in exfoliated cells from oral mucosa of individuals exposed to X-rays during panoramic dental radiographies." Mutat. Res. 562 no.1-2 (2004): 111-117
- 33 Godderis L., Aka P., Mateuca R., Kirsch-Volders M., Lison D. and H. Veulemans. "Dose-dependent influence of genetic polymorphisms on DNA damage induced by styrene oxide, ethylene oxide and gamma-radiation." Toxicology 219 no.1-3 (2006): 220-229
- 34 "Otsenka genotoksicheskikh svoystv metodom DNK-komet in vitro[Assessment of genotoxic properties by the method of DNA-comets in vitro]." Guidelines. M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor (2010): 15.

- 35 Giri S., Giri A., Sharma G. and S. Prasad. "Mutagenic effect of carbosulfan, a carbamate pesticide." *Mutat. Res.* 519 no.1-2 (2002): 75-82
- 36 Fedorov L.A., A.V. Iablokov. "Pestitsidy – toksicheskiy udar po biosfere i cheloveku [Pesticides – toxic impact on the biosphere and humans]." *Moscow. Science* (1999).
- 37 Şekeroğlu V., Şekeroğlu Z.A. and H. Kefelioğlu. "Cytogenetic effects of commercial formulations of deltamethrin and/or thiacloprid on wistar rat bone marrow cells." *Environ. Toxicol.* 28 no.9 (2013): 524-31
- 38 Abhishek A., Ansari N.G., Shankwar S.N., Jain A. and V. Singh. "In vitro toxicity evaluation of low doses of pesticides in individual and mixed condition on human keratinocyte cell line." *Bioinformation.* 10 no.12 (2014): 716—20
- 39 Rank J. and M.H. Nielsen. "Evaluation of the *Allium* anaphase–telophase test in relation to genotoxicity screening of industrial wastewater." *Mutat. Res.* 312 (1994): 17–24
- 40 Feretti D., Zerbini I., Ceretti E., Villarini M., Zani C., Moretti M., Fatigoni C., Orizio G., Donato F. and S. Monarca. "Evaluation of chlorite and chlorate genotoxicity using plant bioassays and in vitro DNA damage tests." *Water Res.* 42 (2008) 4075–4082
- 41 Gerunov T.V., Red'kin Iu.V., L.K. Gerunova. "Immunotoksichnost' pestitsidov: rol' v patologii zhivotnykh i cheloveka [Immunotoxicity of pesticides: a role in the pathology of animals and humans]." *Successes of modern biology.* 131 no. 5 (2011): 474-482
- 42 Chopra Dipak, Rudol'f Tanzi. *Supergen. Na chto sposobna tvoia DNK? [Supergens. What is your DNA capable of?]* Litres (2017)
- 43 Iliushina N.A., Egorova O.V., Masal'tsev G.V., Aver'ianova N.S., Iu.A. Revazova. "Mutagennost' i kantserogennost' pestitsidov, opasnost' dlia zdorov'ia cheloveka [Mutagenicity and carcinogenicity of pesticides, danger to human health]." *Systematic review. Healthcare of the Russian Federation* 61 no.2 (2017): 96-102

**К.С. Кокомбаев<sup>1</sup>, Н.К. Тенирбердиев<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Международный Кувейтский университет, Кыргызстан, г. Бишкек

<sup>2</sup>Кыргызский Национальный университет им. Ж. Баласагына, Кыргызстан, г. Бишкек,

\*e-mail: tenir.n@mail.ru

## **ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ**

На исследуемой территории развитие земледелия, занимающего основные позиции в обеспечении населения продуктами питания, является главной задачей и полностью опирается на использование почвенных ресурсов. Игнорирование научно-обоснованной системы земледелия и агроэкологического потенциала при интенсивном использовании почв в зоне земледелия привело к снижению ее плодородия. Поэтому, правильная организация землепользования на основе мероприятий, разработанных по результатам научных исследований и учета местных особенностей почвенного покрова, является актуальной проблемой современности.

Цель работы – обобщение и анализ результатов исследований по изменению содержания гумуса в почвах длительного сельскохозяйственного использования. В статье рассмотрены количественный и качественный состав гумуса в почвах сельскохозяйственной зоны Кыргызстана, и их изменения в процессе сельскохозяйственного использования. На основании анализа даны рекомендации мелиоративного характера и указаны пути сохранения и повышения содержания гумуса в исследуемых почвах.

**Ключевые слова:** почва, гумус, плодородия, земледелия, дегумификация, биомасса, целина.

K.S. Kokombaev<sup>1</sup>, N.K. Tenirberdiev<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>International Kuwait University, Kyrgyzstan, Bishkek

<sup>2</sup>Kyrgyz national University named after Zh. Balasagyn, Kyrgyzstan, Bishkek,

\*e-mail: tenir.n@mail.ru

## **Influence of anthropogenic impact on changes in humus content in arable soils**

In the study area, the development of agriculture, which occupies the main position in providing the population with food, is the main task and is fully based on the use of soil resources. Ignoring the scientific-based system of agriculture and agroecological potential with intensive use of soils in the agricultural zone has led to a decrease in its fertility. Therefore, the correct organization of land use based on measures developed based on the results of scientific research and taking into account the local characteristics of the soil cover is an urgent problem of our time.

The purpose of the work is to generalize and analyze the results of studies on changes in the humus content in soils of long-term experiments under the influence of agricultural use. The article considers the quantitative and qualitative composition of humus in the soils of the agricultural zone of Kyrgyzstan and their changes in the process of agricultural use. Based on the analysis, recommendations are made for ameliorative nature and ways to preserve and increase the content of humus in the studied soils are indicated.

**Key words:** soil, humus, fertility, agriculture, dehumification, biomass, virgin soil.

К.С. Кокомбаев<sup>1</sup>, Н.К. Тенирбердиев<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Кувейт халықаралық университеті, Қырғызстан, Бішкек қ.

<sup>2</sup> Ж. Баласагын атындағы Қырғыз ұлттық университеті, Қырғызстан, Бішкек қ.,

\*e-mail: tenir.n@mail.ru

## **Ауылшаруашылық қабаттарындағы гумус құрамын өзгертуге антропогендік әсер**

Зерттеу аймағында ауыл шаруашылығын дамыту халықты азық-түлікпен қамтамасыз етуде басты орын алатын басты міндет болып табылады және толығымен топырақ ресурстарын пайдалануға негізделген. Ғылыми негізделген егіншілік жүйесін және агроэкологиялық

өлеуетті елемей егіншілік аймағында топырақты интенсивті пайдалану оның құнарлылығының төмендеуіне әкелді. Сондықтан ғылыми зерттеулердің нәтижелері бойынша жасалған және топырақ жамылғысының жергілікті ерекшеліктерін ескере отырып, жерді пайдалануды дұрыс ұйымдастыру – біздің заманымыздың өзекті мәселесі.

Жұмыстың мақсаты – ұзақ мерзімді ауылшаруашылық мақсатындағы топырақтардағы гумустың құрамындағы өзгерістерді зерттеу нәтижелерін жалпылау және талдау. Мақалада Қырғызстанның ауылшаруашылық аймағының топырағындағы гумустың сандық және сапалық құрамы және олардың ауылшаруашылық өнімдерін пайдалану процесіндегі өзгерістері қарастырылады. Талдау негізінде мелиоративті ұсыныстар беріліп, зерттелген топырақтағы гумустың сақталуы мен көбею жолдары көрсетілген.

**Түйін сөздер:** топырақ, гумус, құнарлылық, ауылшаруашылық, дегумификация, биомасса, целина.

В настоящее время сельское хозяйство Кыргызской Республики, как и в других постсоветских республиках, испытывает множество проблем, связанных с эффективным функционированием, сохранением и повышением плодородия почвы. С периода Независимого развития страны, в процессе распада единого хозяйственного механизма, широкое распространение получили процессы дегумификации, эрозии, засоления и осолонцевания сельскохозяйственных земель. Постепенное обеднение почв в питательных веществах, переуплотнение, разрушение структуры почв имели неимоверные масштабы. Следовательно, для горной республики важнейшей, не только экономической, но и социально значимой задачей стало сохранение базовых основ былого земледельческого хозяйства советского периода. В этом отношении принятие необходимых мер с учетом конкретных почвенно-климатических условий, разработка программ и реализация мероприятий по воспроизводству гумуса в почвах становится первоочередной задачей вновь образовавшихся хозяйствующих субъектов.

В специфичных условиях горной местности особое внимание необходимо уделить разработке и внедрению почвозащитных систем земледелия, применению наиболее эффективных, берегающих гумус и мелкозем приемов орошения, имеющихся немалых площадей. Несомненно, современное состояние сельскохозяйственного производства находится в тесной зависимости от правильного использования почвенного покрова земельных площадей. Интенсивное использование почвенного покрова в районе зоны земледелия без учета агроэкологического потенциала обрабатываемой территории не могло не привести к значительному снижению почвенного плодородия. Также, недостаточность, и вообще отсутствие научно обоснованных систем земледелия, проявились на проблемности нынешнего

сельскохозяйственного производства республики, где ограничены возможности экстенсивного потенциала.

Степень и направленность почвенных процессов под влиянием сельскохозяйственного использования различны, и антропогенный фактор выступает основной причиной применения, или не применения разумных приемов ведения земледелия, направленных на улучшение плодородия почвы. Данный фактор особо значим, когда применяемый подход современного человека к земледелию, и вообще к самой земле, имеет множество изъянов и погрешностей. В частности, ухудшение плодородности почвы есть результат неразумного подхода человека к основной своей базовой единице обрабатываемой площади, нуждающейся в правильной эксплуатации земельных угодий. Данная проблематика обострялась из года в год, обретая свою актуальность в научно-исследовательских изысканиях многих авторов. Не случайно, существенное и разностороннее влияние длительного сельскохозяйственного использования на многие стороны почвообразовательных процессов и плодородия нашло свое отражение во многих ныне опубликованных работах [1-6].

В последние годы в земледельческой практике многих стран все чаще стали проявляться факты ухудшения плодородия обрабатываемых почв при интенсивном и часто несознательном их использовании. В трудах исследователей отмечается данная тенденция, особо заметная в условиях недостаточного орошения, интенсивной механической обработки и т.д. [2, 4, 7, 8]. Исходя из множества научных подходов, изысканий, гипотез, концепций, следует найти наиболее приемлемые методы, приемы, инновационные технологии для повышения эффективности деятельности субъектов сельскохозяйственного производства.

Несомненно, что в сельскохозяйственном производстве основным показателем плодородия почв является почвенный гумус. Плодородие почвы – это ее способность удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаги и воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности. Высокое плодородие почвы обеспечивает оптимальное питание растений, формирование высокого урожая и полноценной по качеству продукции для питания человека и кормов для животных.

Гумус является основной составной частью почвы. В нем содержится углерод, водород, кислород, азот, фосфор и другие элементы, необходимые для роста и развития растений. От количества и состава гумуса во многом зависит структура и плодородие почвы. Доступность для растений азота, входящего в состав гумуса, определяется характером разложения и минерализации органических остатков. Содержание гумуса в различных почвах является устойчивым генетическим признаком и подчиняется определенным географическим закономерностям, которые влияют на процессы его образования и разложения.

Территория Кыргызстана, как горного края, отличается разнообразием природных ландшафтов, которые обусловили пестроту почвенного и растительного покрова. И безусловно, одним из важнейших природных ресурсов страны является почва как величайший природный дар, основа жизни и благополучия народа, источник его богатств, выраженный в разнообразии растительного мира, лесов, животных и самого человека. Почвы сельскохозяйственной зоны представлены в основном низкогумусными, лугово-каштановыми, луговыми засоленными, солонцеватыми и лугово-лесными почвами. Недостаточное применение органических удобрений, длительное, интенсивное возделывание пропашных культур в ряде сельскохозяйственных угодий республики привели к снижению гумуса в почве. В свою очередь проявилось ухудшение водных, физических и физико-химических свойств почвы, ведущее к истощению плодородия. Различия в накоплении биомассы, характере распространения корневых систем растений в толще почвы способствовали образованию гумусовых профилей, характерных для каждого типа или подтипа.

Распашка целины и посев культурных растений приводят прежде всего к тому, что су-

щественным образом меняется фитокомпонент экосистемы, т.е. многовидовые длительно вегетирующие фитоценозы сменяются фитоагроценозами с коротко вегетирующими преимущественно односортовыми видами растений. Это приводит к изменению продукционного процесса и нарушению скомпенсированного круговорота органической массы растений.

Многие показатели почвенного плодородия при интенсивном их использовании в земледелии, в сравнении с целинными почвами, заметно изменились, и часто в худшую сторону, о чем свидетельствуют и наши данные по изучению гумуса и других свойств обрабатываемых почв. Исследование С.И. Воронова (1986) показало, что количество гумуса в сельскохозяйственно освоенных почвах по сравнению с почвами целины снизилось на 12-50 относительных процентов. Сельскохозяйственное использование почв наряду со снижением содержания общего гумуса приводит к уменьшению запасов азота [1, 3, 9, 10].

Как показывают исследования почвоведов республики и других стран, интенсивное использование почв в сельскохозяйственном производстве приводит к существенным изменениям плодородия пашни по сравнению с целинными аналогами. В этом отношении, для сравнения почв пашни и целинных аналогов нами исследованы горно-долинные сероземы северные обыкновенные, светло-каштановые, темно-каштановые и черноземы в зоне земледелия.

При использовании вышеуказанных почв в интенсивном земледелии изменяется не только общее содержание гумуса, но и другие питательные элементы на распаханых почвах в сравнении с целинными их аналогами.

Размеры потерь гумуса после распашки целинных почв Таласской долины зависят от особенностей почв, длительности сельскохозяйственного использования и культуры земледелия. Наши исследования показали, что при длительном сельскохозяйственном использовании в орошаемых сероземах северных обыкновенных почвах количество гумуса в слое 0-28 см снизилось с 1,66 до 1,35%, или на 19 % по сравнению с целинными аналогами; светло-каштановых почвах – с 2,95 до 1,81%, или на 39%; темно-каштановых почвах – с 3,18 до 2,36%, или на 26%, горно-долинных черноземах – с 2,79 до 1,63, или на 58% по сравнению с целинными почвами (Таблица 1).

**Таблица 1** – Изменения содержания гумуса почв Таласской долины в процессе длительного сельскохозяйственного использования

Почва, место расположение. № разреза	Глубина, см	Гумус, %
Сероземы северные обыкновенные с.Кызыл-Адыр разрез 1 целина	0-28	1,66
	28-60	0,93
Те же почвы, с. Кызыл-Адыр разрез 2 пашня	0-28	1,35
	28-60	0,91
Светло-каштановые с.Кок-Таш разрез 3 целина	0-28	2,95
	28-60	1,22
Те же почвы, с. Кок-Таш разрез 4 пашня	0-28	1,81
	28-60	0,74
Темно-каштановые, с. Кенеш разрез 5 целина	0-28	3,18
	28-60	2,60
Те же почвы, с. Кенеш разрез 6 пашня	0-28	2,36
	28-60	2,07
Черноземы малогумусные с. Ак-Коргон разрез 7 целина	0-28	2,79
	28-60	2,24
Те же почвы, с. Ак-Коргон разрез 8 пашня	0-28	1,63
	28-60	1,28

Из освоенных почв наиболее гумусированы темно-каштановые – 2,36%. Слабо гумусированы орошаемые сероземы северные обыкновенные (1,35-0,91%). Интенсивная механическая обработка почвенного покрова Таласской долины на фоне орошения, сокращение посевов многолетних трав, низкая культура земледелия и другие причины способствовали значительным потерям гумуса. В почвах с низким содержанием органического вещества, особенно в сероземах северных обыкновенных, проблема гумуса становится более актуальной, в связи со сниже-

нием его в процессе длительного сельскохозяйственного использования.

При интенсивном использовании лугово-светло-каштановых почв в зоне земледелия Иссык-Кульской области количество гумуса в слое 0-25 см снизилось с 4,29% до 2,85%, или на 34%, подпахотном слое (25-50 см) – с 3,08% до 2,14%, или на 31%; светло-каштановых почвах – с 2,67 до 2,17%, или на 19% по сравнению с целинными аналогами. Сельскохозяйственное использование почв наряду со снижением содержания общего гумуса приводит к уменьшению запасов азота (Таблица 2).

**Таблица 2** – Изменения содержания гумуса почв Иссык-Кульской долины в процессе длительного сельскохозяйственного использования

Почва, место расположение. № разреза	Глубина, см	Гумус, %	Валовый азот, %
Лугово-светло-каштановые разрез 1, целина с. Саруу	0- 25	4,29	0,29
	25- 50	3,08	0,13
Лугово-светло-каштановые разрез 2, пашня (яровая пшеница) с. Саруу	0- 25	2,85	0,16
	25- 50	2,14	0,10
Светло-каштановые разрез 1, целина с. Кызыл-Суу	0- 25	2,67	0,18
	25- 50	2,01	0,11
Светло-каштановые разрез 2, пашня (яровая пшеница) с. Кызыл-Суу	0- 25	2,17	0,09
	25- 50	1,51	0,07

Таблица 3 – Изменение гумусового потенциала почв по районам Чуйской долины за 20 лет

Почвы	Слои	Жайылский район		Московский район		Сокулукский район		Иссык-Атинский р/н.	
		1998 г.	2018 г.	1998 г.	2018 г.	1998 г.	2018 г.	1998 г.	2018 г.
Черноземы	Пах.	5,64	5,7	4,35	4,5	5,76	5,5	6,32	6,4
	п/пах.	3,44	3,2	3,04	3,00	3,40	3,5	3,40	3,35
Темно-каштановые	Пах.	3,20	3,4	3,0	2,8	4,06	3,95	3,94	3,7
	п/пах.	2,19	2,5	2,89	2,5	2,78	2,8	3,06	3,1
Каштановые	Пах.	2,41	2,6	2,42	2,25	2,34	2,4	1,72	1,5
	п/пах.	1,57	1,7	1,62	1,70	1,16	1,2	1,55	1,5
Светло-каштановые	Пах.	2,11	2,00	2,05	1,87	2,00	1,8	1,39	1,1
	п/пах.	1,48	1,35	1,23	1,2	1,65	1,5	0,89	0,78
Сероземы северные обыкновенные	Пах.	1,58	1,20	1,60	1,3	1,62	1,4	1,68	1,5
	п/пах.	0,97	0,87	1,09	1,1	1,08	1,1	1,09	1,1

Примечание: гумус в % веса почвы

Анализ материалов по содержанию гумуса в почвах Чуйской долины показал, что распашка целинных почв и дальнейшее интенсивное использование в орошаемом земледелии привели к резкому сокращению гумуса. Характерным является то, что наиболее ощутимые потери отмечаются в высокогумусных почвах, что обусловлено высокой скоростью деструкции гумуса при формировании урожая сельскохозяйственных культур.

За 20 лет (1998-2018 гг.) между периодами исследования результаты показывают, что в каштановых и черноземных почвах содержание гумуса не уменьшилось, так как эти почвы в основном использовались под зерновые культуры. Наибольшее количество потери гумуса наблюдается в почвах сероземных типов, потому что эти почвы интенсивно используются под посевы технических и пропашных культур [3, 11, 12].

В подпахотных горизонтах изменение гумуса почти не наблюдается.

На содержание и изменение гумуса большое влияние оказывает засоление и солонцеватости почв, а также развитие эрозионных процессов, изменением морфологического строения профиля почв в результате проведения текущих и капитальных планировок.

Проведенное обобщение материалов по содержанию гумуса в почвах позволило охарактеризовать гумусное состояние почв Чуйской долины. Согласно данным таблицы 3, основная часть сероземов северных представлена содержанием гумуса в пределах 1-1,5%, темно-кашта-

новых – 2,8-3,95%, каштановых – 2,3-3%, светло-каштановых – 1,1-2,2%. Следует отметить, что содержание гумуса ни в коем случае нельзя допускать в сероземах до 1%, светло-каштановых почвах – до 2%, луговых темных и каштановых почвах – до 3%.

Отсюда можно сделать вывод, что почвы, интенсивно используемые под технические и пропашные культуры, теряют больше гумуса, что требует необходимости проведения мероприятий, направленных на сохранение и повышение плодородия почв. Снижение запасов гумуса в почвах после их распашки в основном связано с уменьшением количества растительных остатков, поступающих в почву, особенно после посева зерновых и технических культур, а также за счет эрозионных процессов, которые обычно развиваются после распашки.

Сероземы северные обыкновенные характеризуется очень низким содержанием гумуса (меньше 2%) и оценивается как очень низкие по запасам гумуса.

Многочисленные литературные и наши исследования показывают, что при распашке целинных почв, а также при длительном сельскохозяйственном использовании при низкой культуре земледелия во многих случаях происходит потеря гумуса, наблюдается уплотнение, засоление, эрозия, изменяются другие почвенные режимы и свойства, т.е. происходит деградация почв. Увеличиваются площади мелиоративно-неблагополучных земель, снижается плодородие почв и урожайности.

Таким образом, для улучшения плодородия почв исследуемой территории необходимо:

- увеличить долю многолетних трав и однолетних бобовых растений в севообороте;
- внедрить в севооборот промежуточные культуры;

- использовать почвосберегающую систему обработки почвы;
- вносить органические и минеральные удобрения;
- обеспечить своевременное проведение всех агротехнических и комплексных противоэрозионных мероприятий.

### Литература

- 1 Жумабеков Э.Ж. Антропогенные изменения гумуса в пахотных почвах Чуйской долины // Актуальные проблемы агрономии // Сб. науч. тр. Бишкек, Кырг. СХИ. – 1994. – С. 219 -225.
- 2 Тенирбердиев Н.К., Кенжахимов К.К. Экология орошаемых земель Чуйской долины и пути их улучшения // Вестник КНУ им. Ж. Баласагына. Спецвыпуск. – Бишкек, 2014. – С. 202-204
- 3 Упенев А.Ш., Карабаев Н.А., Хелал М.К. Изменение плодородия почв Таласской области при сельскохозяйственном использовании // Сб. науч.тр. К.А.А., Бишкек – 1999. – С. 284-288
- 4 Бирюкова О.Н. Содержание и состав гумуса в основных типах почв России / О.Н. Бирюкова, Д.С. Орлов // Почвоведение [Eurasian Soil Science]. – 2004. – № 2. – С. 171–188.
- 5 Oberlander H. Die Erhaltung des Humusgleichgewichtes in intensivgenutzten Ackerboden /H. Oberlander // Forderungsdinst. – 1979. – V. 27, № 1. – P. 16-19
- 6 Saeki H. Studies on the accumulation and the quality of humus derived from various organic materials unter different conditions / H. Saeki, J. Azuma // Soil and Plant Food. 1956. – V. 2, No 1. – P. 121-127
- 7 Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука, 1980. – P. 122–133.
- 8 Sinha M.K. Organic matter transformation in soils. I. Humification of <sup>14</sup>C tagged oat roots / M.K. Sinha // Soil and Plant Food. 1972. – vol. 36, No 2. – P. 142150.
- 9 Воронов С.И., Мамытова Б.А. Гумусное состояние и расчет баланса гумуса в почвах Чуйской долины Киргизской ССР. // Сб.науч.тр Кирг.НИИП и Х. – 1987. – С. 105-113.
- 10 Badel U. Micromorfology of soil organic mater / U. Badel // Soil compon. Organic compon. Berlin, 1975. – V.1. – P. 261-267.
- 11 Кожеков Ж.К., Карабаев Н.А., Аширахманов Ш.А. Изменение плодородия черноземных и темно-каштановых почв Тянь-Шаня при использовании их в земледелии // Сб. науч. тр. Кирг. НИИП и Х. – 1985. – С. 3-12.
- 12 Тенирбердиев Н.К. Экологические и водные проблемы пахотнопригодных земель Таласской долины. Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов // Труды IV Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2016. – С. 378-382.

### References

- 1 Zhumabekov, E.Zh. “Antropogennye izmeneniya v pahotnyh pochvah Chuyskoi doliny” [Anthropogenic changes in humus in arable soils of the Chui valley]. Actual problems of agronomy (1994): 219 -225 [in Russian]
- 2 Tenirberdiev, N.K., Kenzhakhimov, K.K. “Ecologiya oroshayemyh zemel Chuyskoi doliny I puti ih uluchsheniya” [Ecology of irrigated lands of Chui valley and ways to improve them] Bulletin of KNU named after J. Balasagyn Special issue, Bishkek (2014): 202-204 [in Russian]
- 3 Upenov, A.Sh., Karabaev, N.A., Helal, M.K. “Izmeneniye plodorodiya pochv Talasskoi oblasti pri zemledelcheskom ispolzovanii” [Soil fertility change in Talas oblast during agricultural use] Sbornik nauchnyh trudov, Bishkek (1999): 284-288 [in Russian]
- 4 Birjukova, O.N. “Soderzhanie i sostav gumusa v osnovnyh tipah pochv Rossii” [Content and composition of humus in the main types of soil in Russia] / O. N. Birjukova, D. S. Orlov. Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]. No. 2 (2004): P. 171–188. [in Russian]
- 5 Oberlander, H. “Die Erhaltung des Humusgleichgewichtes in intensivgenutzten Ackerboden”/H. Oberlander // Forderungsdinst. 27, no. 1 (1979): 16-19
- 6 Saeki, H. “Studies on the accumulation and the quality of humus derived from various organic materials unter different conditions.” / H. Saeki, J. Azuma. Soil and Plant Food. 2, no. 1 (1956): P. 121-127
- 7 Aleksandrova, L. N. Organicheskoe veshhestvo pochvy i processy ego transformacii [Soil organic matter and its transformation processes]. L.: Nauka, 1980. P. 122–133. [in Russian]



- 8 Sinha, M.K. "Organic matter transformation in soils. I. Humification of  $^{14}\text{C}$  tagged oat roots." / M.K. Sinha Soil and Plant Food. 36, no. 2 (1972): 142-150
- 9 Voronov, S.I., Mamytova, B.A. "Gumusnoe sostoyaniye i raschet balansa gumusa v pochvah Chuyskoi doliny Kirgisskoi SSR" [Humus status and calculation of the balance of humus in the soils of the Chui valley of the Kyrgyz SSR]. Sbornik nauchnyh trudov, Bishkek (1987): 105-113
- 10 Badel, U. Micromorfology of soil organic mater / U. Badel // Soil compon. Organic compon. Berlin 1 (1975): 261-267
- 11 Kozhekov, Zh.K., Karabaev, N.A., Ashirahmanov, Sh.A. "Izmeneniye plodorodiya chernozemnyh i temno-kashtanovyh pochv Tyan-Shanya pri ispolzovanii ih v zemledelii" [Changes in the fertility of chernozem and dark chestnut soils of the Tien Shan when used in agriculture] Sbornik nauchnyh trudov (1985): 3-12. [in Russian]
- 12 Tenirberdiev, N.K. "Ecologicheskiye i vodnye problemy pahotnoprigradnyh zemel Talasskoi doliny. Ekologicheskaya i tehnosfernaya bezopasnost gornopromyshlennyh regionov" [Ecological and water problems of arable land of Talas valley. Ecological and technosphere safety of mining regions] // Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. Yekaterinburg (2016): 378-382. [in Russian]



2-бөлім

**ҚОРШАҒАН ОРТА ЛАСТАУШЫЛАРЫНЫҢ  
БИОТАҒА ЖӘНЕ ТҰРҒЫНДАР  
ДЕНСАУЛЫҒЫНА ӘСЕРІН БАҒАЛАУ**

---

Section 2

**ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL  
POLLUTION ON BIOTA AND HEALTH**

---

Раздел 2

**ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ  
ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
НА БИОТУ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

**Е.В. Игонина<sup>1</sup>, Б.С. Жошибекова<sup>2\*</sup>,  
А.А. Лебедева<sup>1</sup>, С.К. Абилев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Россия, г. Москва

<sup>2</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, Казахстан, г. Алматы,

\*e-mail: j.bagilash@mail.ru

## **ИЗУЧЕНИЕ ИНДУКЦИИ 8-МЕТОКСИПСОРАЛЕНОМ (8-МОП) SOS-ОТВЕТА У БАКТЕРИЙ *ESCHERICHIA COLI***

Для фотохимиотерапии псориаза и витилиго используется 8-метоксипсорален (8-МОП). При терапии, получившей название PUVA-терапия, пораженную кожу пациента, которому предварительно назначали 8-МОП, облучают УФ-А (> 320 нм). В результате фотохимической реакции 8-МОП образует ковалентную связь с пиримидиновыми основаниями ДНК и формирует как монофункциональные, так и бифункциональные аддукты (межнитевые перекрестные сшивки). Последние являются причиной цитотоксичности 8-МОП, приводящей к гибели псориазных клеток. Однако у выживших клеток эти же аддукты могут быть причиной генотоксичности 8-МОП. Для сравнительного изучения цитотоксичности и генотоксичности 8-МОП впервые использовали lux-биосенсор *E. coli* MG1655 (pColD-lux), несущий рекомбинантную плазмиду с lux-опероном, находящимся под контролем промотора гена *colD*. Ген *colD* (*cda*) входит в SOS-регулон *E. coli*, обеспечивающий репарацию ДНК и устойчивость клеток к повреждению ДНК. Lux-оперон выполняет репортерную функцию, характеризующую уровень SOS-ответа на повреждение ДНК. В качестве показателя цитотоксичности 8-МОП+УФ-А учитывали гибель бактерий, а генотоксичность – по изменению интенсивности люминесценции биосенсора. Индукция 8-МОП SOS-ответа у бактерий зависела как от дозы УФ-А, так и от концентрации 8-МОП. При высоких дозах УФ-А выявлено снижение выживаемости клеток бактерий в 25 раз (с  $2 \times 10^8$  до  $8 \times 10^6$  КОЕ), а у жизнеспособных клеток – возрастание интенсивности SOS-ответа в 675 раз в пересчете на  $10^6$  клеток. Таким образом, показано, что в бактериальной тест-системе генотоксический эффект 8-МОП многократно превышает его цитотоксичность.

**Ключевые слова:** 8-метоксипсорален, lux-биосенсор, *E. coli*, промотор гена ColD, SOS-ответ, УФ-А облучение, аддукты,

E.V. Igonina<sup>1</sup>, B.S. Zhoshibekova<sup>2\*</sup>, A.A. Lebedeva<sup>1</sup>, S.K. Abilev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vavilov Institute of General Genetics of Russian Academic Science, Russia, Moscow

<sup>2</sup>Kazakh National Women's Teacher Training University, Kazakhstan, Almaty,

\*e-mail: j.bagilash@mail.ru

### **The study of induction of 8-methoxypsoralen (8-MOP) SOS-response in bacteria *Escherichia coli***

8-Methoxypsoralen (8-MOP) is used for photochemotherapy of psoriasis and vitiligo. In therapy, called PUVA therapy, the affected skin of a patient who has previously been prescribed 8-MOP is irradiated with UV-A (> 320 nm). As a result of the photochemical reaction, 8-MOP forms a covalent bond with the pyrimidine bases of DNA and forms both monofunctional and bifunctional adducts. The latter cause 8-MOP-mediated cytotoxicity, leading to the death of psoriatic cells. However, in surviving cells, these same adducts can cause 8-MOP genotoxicity. For a comparative study of the cytotoxicity and genotoxicity of 8-MOP, the *E. coli* MG1655 lux biosensor (pColD-lux), carrying a recombinant plasmid with a lux operon controlled by the *colD* gene promoter, was first used. The *colD* gene (*cda*) is part of the *E. coli* SOS-regulon, which provides DNA repair and cell resistance to DNA damage. The death of bacteria was taken into account as an indicator of the cytotoxicity of 8-MOP + UV-A, and the death of bacteria was taken into account by the change in the luminescence intensity of the biosensor. Induction of 8-MOP-mediated SOS-response in bacteria depends on the dose of UV-A, and on the concentration of 8-MOP. At high UV-A doses, a 25-fold decrease in the survival of bacterial cells was detected (from  $2 \times 10^8$  to  $8 \times 10^6$  CFU), and in viable cells, an increase in the intensity of the SOS response by 675 times

in terms of 106 cells. Thus, it was shown that in the bacterial test system, the genotoxic effect of 8-MOP is several times higher than its cytotoxicity.

**Key words:** 8-methoxypsoralen, lux biosensor, *E. coli*, *colD* gene promoter, SOS response, UV radiation, adducts.

Е.В. Игонина<sup>1</sup>, Б.С. Жошибекова<sup>2\*</sup>, А.А. Лебедева<sup>1</sup>, С.К. Абилев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>РГА Н.И. Вавилов атындағы Жалпы генетика институты, Ресей, Мәскеу қ.

<sup>2</sup>Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,

\*e-mail: j.bagilash@mail.ru

### ***Escherichia coli* бактерияларының жасушаларында 8-метоксипсорален (8-МОП) SOS-жауаптың индукциясын зерттеу**

Псориаз және витилиго фотохимиотерапиясы үшін 8-метоксипсорален (8-МОП) қолданылады. PUVA – терапиясы деп аталатын терапия кезінде алдын ала 8-МОП тағайындаған пациенттің зақымдаған терісін УФ-А (> 320 нм) сәулелендіреді. Фотохимиялық реакция нәтижесінде 8-МОП ДНҚ пиримидиндік негіздермен ковалентті байланыс түзеді және монофункционалды да, бифункционалды аддуктарды да қалыптастырады. 8-МОП цитоуыттылығының соңғы себебі псориазикалық жасушалардың өліміне әкеліп соқтырады. Алайда тірі жасушаларда осы аддуктар 8-МОП геноуыттылығының себебі болуы мүмкін. 8-МОПтағы цитоуыттылық пен геноуыттылықты салыстырмалы зерттеу үшін алғаш рет *colD* генінің промоторындағы LUX-опероны бар рекомбинантты плазмидты алып жүретін *E.coli* MG1655 (pColD-lux) lux-биосенсорын пайдаланды. Ген *colD* (*cda*) ДНҚ репарациясын және ДНҚ зақымдануына жасушалардың тұрақтылығын қамтамасыз ететін *E.coli*-дің SOS-регулонына кіреді. Lux-оперон ДНҚ зақымдануына SOS-жауап деңгейін сипаттайтын репортер функциясын орындайды. УФ-А сәулемен белсендірілген 8-МОП цитоуыттылық көрсеткіші ретінде бактериялардың өлуін, ал геноуыттылық-биосенсор люминесценциясының қарқындылығының өзгеруі бойынша ескеріледі. SOS-жауап бактерияларындағы 8-МОП индукциясы УФ-А дозасына да, 8-МОП концентрациясына да байланысты. УФ-А-нің жоғары дозаларында бактериялар жасушаларының өміршеңдігі 25 есе ( $2 \times 10^8$ -ден  $8 \times 10^6$  КОЕ-ге дейін), ал өміршең жасушаларда-SOS-жауаптың қарқындылығы  $10^6$  клеткаға қайта есептегенде 675 есе өскені анықталды. Осылайша, бактериялық тест-жүйеде 8-МОП геноуыттылық әсері оның цитоуыттылығынан бірнеше есе артық екендігі көрсетілген.

**Түйін сөздер:** 8-метоксипсорален, lux-биосенсор, *E. coli*, промотор гена ColD, SOS-жауап, УФ-А-сәулеленуі, аддукт.

## **Введение**

8-Метоксипсорален (8-МОП, ксантотоксин) относится к классу фурукумаринов – фотосенсибилизирующих средств растительного происхождения. 8-МОП используется в фотохимиотерапии псориаза и витилиго, получившей название PUVA-терапия [1, 2] При такой терапии пациентам назначают внутрь 8-МОП, затем проводят облучение пораженных участков кожи ультрафиолетом А (УФ-А) с длиной волны 320–400 нм. В результате фотоактивации 8-МОП вызывает поражение ДНК и подавление ее репликации. Это приводит к многочисленным морфологическим и биохимическим изменениям в клетке, которые завершаются апоптозом [3, 4]. Характерной чертой апоптоза является формирование сегментов по 180–200 пар нуклеотидов в результате фрагментации двунитовой ДНК. PUVA приводит к таким нарушениям спустя 48 и 72 часа после облучения, что было продемонстрировано многочисленными исследованиями [5, 6].

Молекулярная природа фотобиологических эффектов 8-МОП связана с планарной организацией и гидрофобностью его молекулы, способствующих интеркаляции в ДНК. Однако интеркалированный 8-МОП не образует водородные связи с основаниями ДНК и, соответственно, не вызывает повреждения в ДНК. При облучении УФ-А участков кожи пациента молекулы 8-МОП в процессе фотохимической реакции взаимодействуют с пиримидиновыми основаниями ДНК, образуя прочную ковалентную связь. При ковалентном фотосвязывании с ДНК 8-МОП формирует как монофункциональные, так и бифункциональные аддукты. Связывание с ДНК происходит не в случайных местах макромолекулы, а в специфических рецепторных сайтах. Последовательности, в состав которых входят основания А и Т, оказываются лучшими рецепторными сайтами для формирования моноаддуктов, тогда как последовательности ДНК с содержанием всех оснований (А, Т, Ц, Г) являются предпочтительными для формирования би-

функциональных аддуктов, то есть межнитевых сшивок [7, 8].

Для изучения генотоксической активности 8-МОП используются в основном клеточные культуры млекопитающих или человека. Однако для изучения механизмов генетической активности 8-МОП наиболее подходящими объектами являются бактерии, к которым относятся lux-биосенсоры на основе *Escherichia coli*. Эти биосенсоры несут рекомбинантные плазмиды, содержащие промоторы индуцибельных генов, которые слиты с lux-опероном светящихся бактерий. В этой конструкции промоторы несут сенсорную функцию, а lux-оперон – репортерную [9].

В настоящей работе изучали способность 8-МОП, активированного УФ-А облучением, индуцировать SOS-ответ у биосенсора *E. coli* MG1655 (pColD-lux) и соотношение между уровнями гибели бактерий и индукцией SOS-ответа как показателя генотоксичности.

### Материалы и методы

**Штаммы.** В работе использовали lux-биосенсор *E. coli* MG1655 (pColD-lux), который несет рекомбинантную плазмиду с опероном *luxCDABE* почвенной фотобактерии *Photorhabdus luminescens*, поставленным под контроль промотора индуцибельного гена *colD* (*cda*). Оперон *luxCDABE* отвечает за работу люциферазы и обеспечивает биолюминесценцию, интенсивность которой указывает на уровень экспрессии гена *colD*, входящей в SOS-регулон *E. coli*. Штамм *E. coli* MG1655 (pColD-lux) предоставлен Г.Б. Завильгельским и А.В. Мануховым (ГосНИИГенетика, г. Москва). Генотип штамм и конструкции рекомбинантной плазмиды приведены ранее [9].

**Условия роста и культивирования.** Бактерии выращивали на питательном агаре на основе бульона Луриа-Бертани (LB) при 37° С до появления заметных колоний. Индивидуальные колонии использовали для культивирования ночных культур.

**Химические вещества.** Для экспериментов использовали 8-метоксиспсорален (8-МОП) аналитической чистоты фирмы Sigma-Aldrich (США). Для получения 1% раствора чистый 8-МОП разводили в 70% спирте, а затем для получения нужных концентраций 1% раствор разводили в воде для получения дозозависимого эффекта.

**Постановка эксперимента и измерение SOS-ответа.** Для приготовления ночной культуры брали небольшое количество культуры с косяков (с музея культуры, хранившегося при +4 °С не более 4-6 месяцев в среде LB агарозного геля), разводили в 5 мл LB и оставляли расти на ночь при температуре 37 °С. 2 мл ночной культуры и 20 мкг/мл ампициллина разводили в 20 мл свежего LB и растили 2 часа при температуре 37 °С с аэрацией до плотности культуры 3.0. Затем пробы по 180 мкл, содержащие суспензию клеток, раскапывали в специальные планшеты и добавляли по 20 мкл раствора 8-МОП в различных концентрациях. Планшеты с 8-МОП облучали по 3 минуты для активации вещества с помощью ультрафиолетовой лампы (УФ-А с длиной волны 365 нм).

Дозу УФ-А света измеряли УФ-радиометром ТКА-ПКМ-12. В качестве контроля использовали культуру с добавлением дистиллированной воды, т.е. без добавления 8-МОП, а также использовали дополнительный планшет с изучаемыми концентрациями 8-МОП, но без облучения. Затем планшеты помещали в термостат на 90 мин при температуре 37 °С. По окончании инкубации люминесценцию измеряли на приборе LuxMate и результаты записывали в таблицу.

Статистическую обработку данных проводили в надстройке «Анализ данных» Microsoft Excel, StatPlus и WINPEPI. Во всех случаях на графиках представлены средние значения и ошибки среднего.

**Тест на выживаемость бактерий.** Для определения выживаемости бактерий биосенсора, т.е. количества колониеобразующих единиц (КОЕ), культуры в лунках планшета после измерения люминесценции серийно разводили от  $10^{-2}$  до  $10^{-6}$ . В пробирку с 10 мл физиологического раствора добавляли 100 мкл среднего содержимого из 8 лунок для каждой концентрации. Затем содержимое первой пробирки перемешивали и из этой пробирки брали 100 мкл и помещали в следующую пробирку и т.д. Потом из разных разводений брали по 100 мкл и выливали на чашку Петри с застывшим питательным агаром на LB-среде. Для равномерности слоя по поверхности агара растирали раствор стерильным шпателем. Последовательность действий повторяли для каждого варианта опыта (концентрации 8-МОП или дозы УФ-А) в трех повторностях. Затем чашки оставляли на ночь при температуре 37 °С. На следующий день проводили подсчет отдельных колоний вручную.

## Результаты

В работе мы использовали 96 луночные планшеты, что позволяло получать в каждом эксперименте данные в 8 повторностях. Интенсивность люминесценции приведена в относительных единицах светового потока, регистри-

руемого люминометром. В таблице 1 приведены показатели люминесценции биосенсора *E. coli* MG1655 (pColD-lux) при облучении УФ-А в течение от 1 до 5 мин без 8-МОП. Видно, что УФ-А при использованных режимах облучения не повышает статистически значимо уровень спонтанного свечения биосенсора.

**Таблица 1** – Люминесценция биосенсора *E.coli* MG1655 (pColD-lux) при облучении УФ-А в течение от 1 до 5 мин без 8-МОП

Повторности	Люминесценция в отн. ед.					
	0 мин.	1 мин.	2 мин.	3 мин.	4 мин.	5 мин.
1	956	854	940	939	820	648
2	859	968	839	870	689	566
3	859	970	861	698	646	511
4	839	873	692	745	715	506
5	860	941	715	753	777	494
6	888	873	665	771	726	619
7	876	950	741	763	757	746
8	810	779	922	749	623	610
среднее	868,38	901,00	796,88	786,00	719,13	587,50
Станд. отклонение	42,49	67,52	107,07	78,47	66,03	86,17

Тогда как при облучении УФ-А при тех же режимах в присутствии 8-МОП в концентрации  $9,2 \times 10^{-4}$  моль/л происходит увеличение интенсивности люминесценции биосенсора *E. coli* MG1655 (pColD-lux) (табл. 2). Наиболее интенсивное свечение наблюдается при 2- и 3-минут-

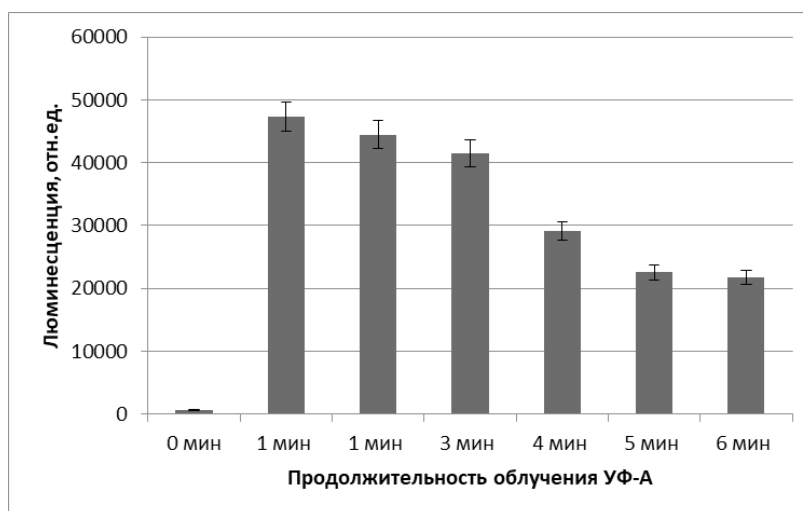
ном облучении, что соответствуют дозам УФ-А 1,08 и 2.16 Дж/м<sup>2</sup>. Из этой таблицы следует, что 8-МОП без облучения (0 мин. – контроль) не проявляет генетической активности и, соответственно, не индуцирует люминесценцию у биосенсора.

**Таблица 2** – Люминесценция биосенсора *E.coli* MG1655 (pColD-lux) при облучении УФ-А в течение от 1 до 5 мин в присутствии 8-МОП в концентрации  $9,2 \times 10^{-4}$  моль/л

Повторности	Люминесценция в отн. ед.					
	0 мин.	1 мин.	2 мин.	3 мин.	4 мин.	5 мин.
1	549	19070	30678	51971	33358	33357
2	488	24064	36249	30744	42201	22502
3	563	27128	40495	44751	41306	21728
4	520	34454	46655	30712	32869	27494
5	547	23191	40744	41139	30991	21868
6	671	22346	44476	20932	31699	29232
7	709	23537	42663	52364	33830	34976
8	520	22704	43930	57188	20581	31344
среднее	570,87	24561,75	40736,25	41225,13	33354,38	27812,63
Станд. отклонение	77,70	4569,14	5131,02	12755,9	6691,55	5307,74

Графическое представление этих результатов приведено на рис. 1. Видно, что с увеличением продолжительности облучения (более 3 мин.)

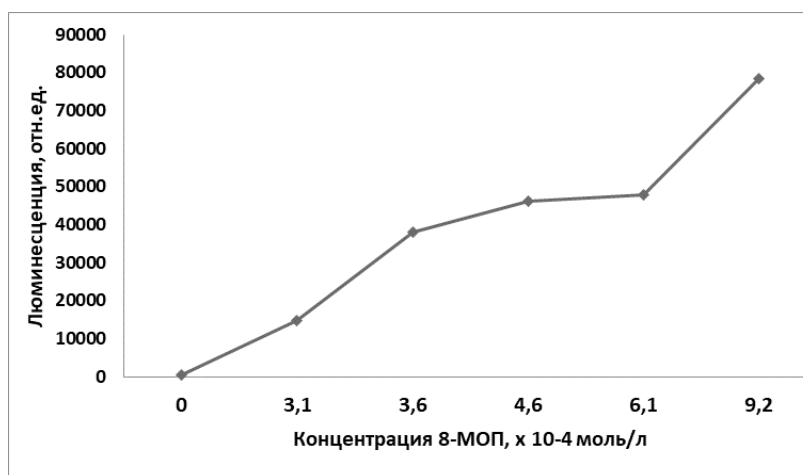
происходит снижение интенсивности люминесценции, то есть проявляется токсическое действие комбинации 8-МОП+УФ-А на бактерии.



**Рисунок 1** – Зависимость люминесценции биосенсора pColD-lux при концентрации 8-МОП  $9,2 \times 10^{-4}$  моль/л от продолжительности облучения УФ-А в мин.

Зависимость интенсивности люминесценции биосенсора *E. coli* MG1655 (pColD-lux) от концентраций 8-МОП при фиксированной продолжительности облучения (3 мин.), соответствующей

дозе облучения  $2,16 \text{ Дж/м}^2$ , представлена на рисунке 2. В этом случае наблюдается практически линейная зависимость интенсивности люминесценции от концентрации 8-МОП.



**Рисунок 2** – Зависимость люминесценции биосенсора pColD-lux от концентрации 8-МОП при 3 мин. облучении УФ-А

На следующем этапе исследований нами было изучено токсическое действие на бактерии 8-МОП, активированного УФ-А. Для экспериментов использовали также 96 луночных

планшетов, каждый вариант эксперимента состоял из 8 повторностей. После облучения бактерий УФ-А при различных дозах 8-МОП и инкубации при  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 90 мин., не-



обходимой для экспрессии генов, определяли интенсивность люминесценции биосенсора в каждой лунке планшета. Затем суспензии бактерий в лунках по всем концентрациям отдельно смешивали для усреднения значений и серийно разводили для учета средневзвешенного числа колониеобразующих единиц (КОЕ). Для этого по 100 мкл суспензии из различных разведений высевали на чашки Петри с питательным агаром. Полученные результаты приведе-

ны в таблице 3. Количество КОЕ представлено в пересчете на 200 мкл, что соответствует объему святойшейся культуры в лунке планшета. Из таблицы 3 видно, что снижение выживаемости начинается при 3-минутном облучении, что соответствует дозе УФ 2,16 Дж/м<sup>2</sup>. При 5 мин. облучении (2,7 Дж/м<sup>2</sup>) выживаемость снижается с  $2 \times 10^8$  (контроль без облучения) до  $8 \times 10^6$  КОЕ, что соответствует 25-кратному снижению выживаемости.

**Таблица 3** – Интенсивность люминесценции биосенсора *E.coli* MG1655 (pColD-lux) при активации 8-МОП облучением УФ-А в течение от 1 до 5 мин.

Облучение, мин.	Люминесценция 200 мкл, усл. ед	Количество КОЕ в 200 мкл	Люминесценция на 10 <sup>6</sup> КОЕ, усл. ед.
0	680 ± 75	$2 \times 10^8$	3,4
1	38540 ± 2660	$2 \times 10^8$	192,7
2	36170 ± 1970	$2 \times 10^8$	180,8
3	34625 ± 2355	$5 \times 10^7$	692,7
4	24820 ± 1730	$2 \times 10^7$	1241,0
5	18365 ± 1551	$8 \times 10^6$	2295,6

Перерасчет показателей люминесценции биосенсора в условных единицах на 10<sup>6</sup> КОЕ показал, что интенсивность свечения возрастает с 3,4 условных единиц в контрольном варианте без облучения до 2295,6 при 5-минутном облучении. В последнем случае интенсивность свечения возрастает в 675,2 раз по отношению к показателю в контроле.

### Обсуждение

У бактерий *Escherichia coli* SOS-ответ представляет собой скоординированную индукцию, состоящую из около 40 генов, активирующихся в ответ на повреждение ДНК, а также остановку репликации различными химическими и физическими агентами, как УФ-излучение, перекись водорода, митомицин, блеомицин и др. Работа SOS-системы направлена на повышение способности клеток к репарации и репликации ДНК, на увеличение устойчивости клеток к повреждению ДНК и снижению интенсивности мутагенеза.

В индукции SOS-ответа важную роль играют продукты генов *lexA* и *recA*, а также наличие однонитевых разрывов в ДНК (ssDNA). Ген *lexA* кодирует белок LexA, который является репрессором генов SOS-регулона. Молекулярные механизмы индукции SOS-ответа в клетках *E. coli*

детально исследованы и обобщены в обзорах [10-12]. Экспрессия генов SOS-регулона происходит поочередно. Сначала экспрессируются гены эксцизионной репарации нуклеотидов, далее начинается экспрессия генов *recA* и *recN*, продукты которых участвуют в рекомбинации. Если после индукции первых SOS-генов в ДНК все еще остаются повреждения, начинается экспрессия генов *umuD* и *umuC*, кодирующих ДНК-полимеразу V (мутасому), и генов, кодирующих колицины, индукция которых ведет к лизису клетки. Это происходит, по оценочным данным, примерно через 40 мин после индукции первых SOS-генов. Таким образом, использованный нами биосенсор MG1655 MG1655 (pColD-lux) несет промотор терминального гена SOS-регулона, который активируется при наличии неудаленных на ранних этапах репарации повреждений ДНК. К ним относятся объемные аддукты, тиминовые димеры и межнитевые сшивки, приводящие к остановке репликации ДНК.

В lux-биосенсорах, сконструированных для изучения способности тестируемого агента повреждать ДНК, в качестве сенсора используют промоторы таких индуцибельных генов SOS-системы, как *recA*, *dinI*, *sulA*, *colD(cda)*. Нами был использован биосенсор *E. coli* MG1655 (pColD-lux), несущий плазмиду с промотором

pColD, слитым транскрипционно с опероном *luxCDABE*. Данный биосенсор характеризуется низким уровнем спонтанного свечения и высокой амплитудой ответа, то есть высоким уровнем кратности превышения ответа при индукции над спонтанным уровнем [9, 13]. Например, промотор pColD плазмидного гена *cda* показал ответ на генотоксическое воздействие в 12, 5 и 3 раза больше, чем промоторы *recA*, *sulA* и *umuDC*, соответственно, а также значительно более высокую чувствительность [14].

Полученные данные показали, что индукция SOS-ответа 8-МОП зависит от дозы УФ-А (365 нм). При этом 8-МОП и УФ-А по отдельности не проявили такой способности. При фиксированной концентрации 8-МОП индукция SOS-ответа зависела от дозы УФ-облучения. При высоких дозах УФ-А происходило снижение выживаемости клеток бактерий с  $2 \times 10^8$  до  $8 \times 10^6$  КОЕ в 200 мкл, сопровождающееся возрастанием уровня индукции SOS-ответа в 675 раз в пересчете на  $10^6$  КОЕ. Это указывает на то, что при высоких дозах УФ-облучения часть клеток погибает, а оставшиеся клетки жизнеспособны и имеют высокий уровень экспрессии генов репарации ДНК. Причиной этих событий могут быть особенности связывания 8-МОП, активированного УФ-облучением, с основаниями ДНК. При низких дозах УФ-облучения 8-МОП образует моноаддукт, то есть связывается с одним основанием А или Т, а при высоких дозах облучения – с двумя пиримидиновыми основаниями, расположенными на противоположных нитях ДНК, то есть образует межнитевые перекрестные сшивки (МНПС). Образовавшиеся при этом МНПС в свою очередь приводят к блокировке синтеза ДНК, который является причиной образования однонитевых разрывов и, соответственно, активации SOS-регулона в клетках *E. coli*. Если моноаддукты могут быть удалены из ДНК системой эксцизионной репарации, то МНПС, образованные 8-МОП+УФ-А, могут блокировать транскрипцию и репликацию, приводя к гибели клеток, если они не будут восстановлены.

В репарации МНПС в той или иной мере участвуют эксцизионная репарация оснований (BER) и нуклеотидов (NER), транслационный синтез (TLS) и репарация двунитевых разрывов [15, 16, 17]. Установлено, что на дрожжах

8-МОП+УФ-А усиливает экспрессию генов, участвующих в реакции на повреждения ДНК, в репарации разрыва двойной нити путем гомологичной рекомбинации, а также генов, связанных с регуляцией клеточного цикла. Показано также изменение в экспрессии субтеломерных генов и генов, связанных с ремоделированием хроматина, что согласуется со структурными модификациями хроматина, имеющими отношение к репарации ДНК. Эти результаты указывают на специфический профиль в ответах на 8-МОП+УФ-А, связанных с ремоделированием хроматина и репарацией ДНК [18]. Токсическое действие МНПС связано не только с ингибированием репликации ДНК, но и с ингибированием транскрипции путем блокировки продвижения РНК-полимеразы в местах ДНК со сшивкой. При изучении общегеномных транскрипционных изменений у дрожжей в ответ на 8-МОП+УФ-А обнаружено, что 128 генов были индуцированы и 29 генов были подавлены. Изменения в экспрессии генов касались многих биологических процессов. По сравнению с другими генотоксикантами, ответы 42% генов ответа были специфичны для 8-МОП+УФ-А. В дополнение к генам ответа на повреждение ДНК и генам, индуцированным стрессорными факторами окружающей среды, большая часть генов ответа 8-МОП/UVA соответствует функциям, связанным с мембраной [19].

### Заключение

Таким образом, изучение генотоксичности 8-МОП с использованием биосенсора *E. coli* MG1655 (pColD-lux) показало, что индукция SOS-ответа у бактерий при воздействии 8-МОП зависит как от дозы УФ-облучения, так и от концентрации 8-МОП. При высоких дозах УФ-А происходит гибель части бактерий, связанная с межнитевыми перекрестными сшивками в ДНК, индуцированными фотоактивированными 8-МОП. У жизнеспособных клеток бактерий регистрируется интенсивная экспрессия колицинового гена, свидетельствующая о высоком уровне индукции генов репарации ДНК, входящих в SOS-регулон, которая возрастает в 675 раз по отношению к контролю в пересчете на 1 млн жизнеспособных клеток.

### Литература

- 1 Потепенко А.Я. Псоралены и медицина – 4000-летний опыт фотохимиотерапии // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 66, № 11. – С. 22-29.
- 2 Lerner, A. B., Denton C. R., Fitzpatrick, T. B. Clinical and experimental studies with 8-methoxypsoralen in vitiligo // *The Journal of Investigative Dermatology*. – 1953. – Vol. 20. – P. 299–314.
- 3 Canton M. PUVA-induced apoptosis involves mitochondrial dysfunction caused by the opening of the permeability transition pore // *FEBS Lett.* – 2002. – Vol. 522. – P. 168–172. doi: 10.1016/S0014-5793(02)02926-5
- 4 Santamaria A. B., Davis D. W., Nghiem D. X., et al., p53 and Fas ligand are required for psoralen and UVA-induced apoptosis in mouse epidermal cells // *Cell Death and Differentiation*. – 2008. – Vol. 9. – P. 549–560. doi: 10.1038/sj.cdd.4401007
- 5 Averbek D. Recent advances in psoralen phototoxicity mechanism // *Photochem Photobiol.* – 1989. – Vol. 50. – P. 859–882. doi: 10.1111/j.1751-1097.1989.tb02917.x
- 6 Averbek D. DNA photodamage, repair, gene induction and genotoxicity following exposures to 254 nm UV and 8-methoxypsoralen plus UVA in a eukaryotic cell system // *Photochem and Photobiol.* – 1998. – Vol. 68. – P. 289–295. doi: 10.1111/j.1751-1097.1998.tb09683.x
- 7 Dall'Acqua F., Vedaldi D., Bordin F., Rodighiero G. New studies on the interaction between 8-methoxypsoralen and DNA in vitro // *Journal of Investigat. Dermatol.* – 1979. – Vol. 73. – P. 191–197.
- 8 Tessman J. W., Isaacs S. T., Hearst J. E. Photochemistry of the furan-side 8-methoxypsoralen-thymidine monoadduct inside the DNA helix. Conversion to Diadduct and to Pyrone-Side Monoadduct // *Biochemistry*. – 1985. – Vol. 24. – P. 1669–1676.
- 9 Котова В. Ю., Манухов И. В., Завильгельский Г. Б. Лух-биосенсоры для детекции SOS-ответа, теплового шока и окислительного стресса // *Биотехнология*. – 2009. – № 6 – С. 16–25. doi: 10.1134/S0003683810080089
- 10 Завильгельский Г.Б. SOS-репарации 60 лет // *Молекулярная биология*. – 2013. – Т. 47, № 5. – С. 699–706. doi: 10.7868/S0026898413050224.
- 11 Maslowska K.H., Makiela D., Dzbenska K., Fijalkowska I.J. The SOS system: A complex and tightly regulated response to DNA damage // *Environ. Molec. Mutagenesis*. – 2019. – Vol. 60, N4. – P. 368-384. doi:10.1002/em.22267
- 12 Baharoglu Z., Mazel D. SOS, the formidable strategy of bacteria against aggressions // *FEMS Microbiol. Rev.* – 2014. – Vol. 38, N6. – P. 1126–1145. doi:10.1002/em.22267
- 13 Игонина Е.В., Марсова М.В., Абилов С.К. Лух-биосенсоры: скрининг биологически активных соединений на генотоксичность // *Экологическая генетика*. 2016. – Т. 14, № 4. – С. 52–62. doi: 10.17816/ecogen14452-62.
- 14 Norman A, Hansen L.H., Sørensen S.J. Construction of a ColD cda promoter-based SOS-green fluorescent protein whole-cell biosensor with higher sensitivity toward genotoxic compounds than constructs based on recA, umuDC, or sulA promoters // *Applied and Environ. Microbiol.* – 2005. – Vol. 71, N5. – P. 2338-46. doi: 10.1128/AEM.71.5.2338-2346.2005
- 15 Vasquez KM. Targeting and processing of site-specific DNA interstrand crosslinks // *Environ Mol Mutagen.* – 2010. – Vol. 51. – P. 527–539. doi: 10.1002/em.20557.
- 16 Ho TV, Schärer OD. Translesion DNA synthesis polymerases in DNA interstrand crosslink repair // *Environ Mol Mutagen.* – 2010. – Vol. 51. – P. 552–566. doi: 10.1002/em.20573.
- 17 Kothandapani A, Patrick S.M. Evidence for base excision repair processing of DNA interstrand crosslinks // *Mutat Research.* – 2013. – Vol. 743-744. – P. 44-52. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2012.11.007.
- 18 Cruz L.A., Guecheva T.N., Bonato D., Henriques J.A. Relationships between chromatin remodeling and DNA damage repair induced by 8-methoxypsoralen and UVA in yeast *Saccharomyces cerevisiae* // *Genet Mol Biol.* – 2012. – Vol. 35. – Suppl. 4. – P. 1052–1059. doi: 10.1590/s1415-47572012000600021
- 19 Dardalhon M., Lin W, Nicolas A, Averbek D. Specific transcriptional responses induced by 8-methoxypsoralen and UVA in yeast // *FEMS Yeast Res.* – 2007. – Vol. 7, N 6. – P. 866-878. DOI: 10.1111/j.1567-1364.2007.00270.x

### References

- 1 Potapenko, A. Ya. "Psoraleny i medicina – 4000-letnij opyt ftohimioterapii" [Psoralens and medicine – 4000 years of photochemotherapy experience]. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal* 6 (11) (2000): 22-29. (In Russian)
- 2 Lerner, A. B., Denton, C. R., Fitzpatrick, T. B. "Clinical and experimental studies with 8-methoxypsoralen in vitiligo." *The Journal of Investigat. Dermatol.* 20, no. 4 (1953): 299–314.
- 3 Canton, M. "PUVA-induced apoptosis involves mitochondrial dysfunction caused by the opening of the permeability transition pore." *FEBS Lett.* 522 (2002): 168–172. doi: 10.1016/S0014-5793(02)02926-5
- 4 Santamaria, A.B., Davis, D.W., Nghiem, D.X., et al. "p53 and Fas ligand are required for psoralen and UVA-induced apoptosis in mouse epidermal cells." *Cell Death and Differentiat.* 9, no. 5 (2008): 549–560. doi: 10.1038/sj.cdd.4401007
- 5 Averbek, D. "Recent advances in psoralen phototoxicity mechanism." *Photochem Photobiol.* 50 (1989): 859–882. doi: 10.1111/j.1751-1097.1989.tb02917.x
- 6 Averbek, D. "DNA photodamage, repair, gene induction and genotoxicity following exposures to 254 nm UV and 8-methoxypsoralen plus UVA in a eukaryotic cell system." *Photochem Photobiol.* 68 (1998): 289–295. doi: 10.1111/j.1751-1097.1998.tb09683.x
- 7 Dall'Acqua, F., Vedaldi, D., Bordin, F., Rodighiero, G. "New studies on the interaction between 8-methoxypsoralen and DNA in vitro." *Journal of Investigat. Dermatol.* 73, no. 2 (1979): 191–197.

- 8 Tessman, J.W., Isaacs, S.T., Hearst, J.E. "Photochemistry of the furan-side 8-methoxypsoralen-thymidine monoadduct inside the DNA helix. Conversion to diadduct and to pyrone-side monoadduct." *Biochemistry* 24, no. 7 (1985): 1669–1676.
- 9 Kotova, V.Yu., Manuhov, I.V., Zaviľ'gel'skij, G.B. "Lux-biosensory dlya detekcii SOS-otveta, teplovogo shoka i okislitel'nogo stressa" [Lux-biosensors for detection of SOS-response, heat shock and oxidative stress]. *Biotekhnologiya in Russia* 6 (2009): 16–25. (In Russian) doi: 10.1134/S0003683810080089.
- 10 Zaviľ'gel'skij, G.B. "SOS-reparacii 60 let" [SOS-repair – 60 years]. *Molekulyarnaya biologiya* 47, no. 5 (2013): 699–706. (In Russian) doi: 10.7868/S0026898413050224
- 11 Masłowska, K.H., Makiela-Dzbenka, K., Fijalkowska I.J. "The SOS System: A complex and tightly regulated response to DNA damage." *Environ. Molecular Mutagenesis* 60, no. 6 (2019): 368-384. doi:10.1002/em.22267
- 12 Baharoglu, Z., Mazel, D. "SOS, the formidable strategy of bacteria against aggressions." *FEMS Microbiol. Rev.* 38 (2014): 1126–1145. doi:10.1111/1574-6976.12077
- 13 Igonina, E.V., Marsova, M.V., Abilev, S.K. "Lux-biosensory: skring biologicheski aktivnyh soedinenij na genotoksichnost'" [Lux-biosensors: screening of biologically active compounds for genotoxicity]. *Ekologicheskaya genetika* 14, no. 4 (2016): 52–62. (In Russian) doi: 10.17816/ecogen14452-62
- 14 Norman, A., Hansen, L.H., Sørensen, S.J. "Construction of a ColD cda promoter-based SOS-green fluorescent protein whole-cell biosensor with higher sensitivity toward genotoxic compounds than constructs based on recA, umuDC, or sulA promoters." *Appl. Environ. Microbiol.* 71, no. 5 (2005): 2338-2346. doi:10.1128/AEM.71.5.2338-2346.2005
- 15 Vasquez, K.M. "Targeting and processing of site-specific DNA interstrand crosslinks." *Environ. Mol. Mutagen.* 6 (2010): 527-539. doi:10.1002/em.20557.
- 16 Ho, T.V., Schäfer, O.D. "Translesion DNA synthesis polymerases in DNA interstrand crosslink repair." *Environ. Mol. Mutagen.* 51, no. 6 (2010): 552-566. doi: 10.1002/em.20573.
- 17 Kothandapani, A., Patrick, S.M. "Evidence for base excision repair processing of DNA interstrand crosslinks." *Mutat Res.* 743-744 (2013): 44-52. doi:10.1016/j.mrfmmm.2012.11.007.
- 18 Cruz, L.A., Guecheva, T.N., Bonato, D., Henriques, J.A. "Relationships between chromatin remodeling and DNA damage repair induced by 8-methoxypsoralen and UVA in yeast *Saccharomyces cerevisiae*." *Genet Mol Biol.* 35, (suppl.4) (2012): 1052–1059. doi: 10.1590/s1415-47572012000600021
- 19 Dardalhon, M., Lin, W., Nicolas, A., Averbeck, D. "Specific transcriptional responses induced by 8-methoxypsoralen and UVA in yeast." *FEMS Yeast Res.* 7, no. 6 (2007): 866-78. doi: 10.1111/j.1567-1364.2007.00270.x

**Г.Ж. Кенжетаев, С. Сырлыбеккызы, Ш.Х. Баймукашева**

Каспийский государственный университет технологии  
и инжиниринга им. Ш. Есенова,  
Казахстан, г. Актау, \*e-mail: Samal\_86a@mail.ru

## **ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТСТОЙНИКА СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПУТЕЙ ИХ ОЧИСТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АРИДНОЙ ЗОНЕ**

В статье приведены результаты исследований состояния отстойника сточных вод, которые позволяют определить степень загрязнения и выбрать наиболее экологически и экономически целесообразный способ их очистки для использования в системе полива насаждений. В настоящее время для города нефтяников Жанаозен первоочередная проблема поиска альтернативных источников водообеспечения, решения вопроса нехватки воды даже на полив насаждений, не говоря о нуждах орошаемого земледелия. Актуальной и своевременной является геохимическая оценка загрязнения воды и донных отложений отстойника сточных вод городских канализационных очистных сооружений, позволяющая выполнить анализ особой ситуации в районе отстойника и разработать пути решения использования этих вод для поверхностного полива городских насаждений. Отбор проб воды проводился в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000. Отбор и хранение донных отложений проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01-80. Определение pH воды проводили с помощью портативного pH-метра Hanna. Определение содержания нефтепродуктов проводили по аттестованной методике экстракционно-фотометрическим методом на анализаторе содержания нефтепродуктов «АН-2». Статистическую обработку данных проводили в среде аналитического программного интерфейса Statistica 10. Выбор метода анализа с помощью статистики критерия Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis ANOVA) определяли малым объемом выборки исследований с разными законами распределения. Программы семейства ГИС (Google Maps, SAS Planet) были использованы для создания карты-схемы в районе расположения исследуемого отстойника сточных вод. Результаты оценки степени загрязнения отстойника, находящегося практически в черте г. Жанаозен, с недостаточной степенью очистки вод, что превращает его в «техногенный» объект, позволяют разработать и выбрать наиболее экономически целесообразный и экологически чистый гелиоспособ очистки вод с целью решения проблемы дефицита поливной воды, для зеленых насаждений города нефтяников.

**Ключевые слова:** отстойник, сточные воды, донные отложения, тяжелые металлы, индекс загрязнения воды, показатель суммарного загрязнения.

G.Zh. Kenzhetayev, S. Syrlybekkyzy, Sh.Х. Баймукашева  
Sh. Yesenova Caspian State University of Technology and Engineering,  
Kazakhstan, Aktau, \*e-mail: Samal\_86a@mail.ru

## **Ecological and geochemical assessment of the degree of contamination of the wastewater sump, for the development of ways of their treatment and use in the arid zone**

The article presents the results of studies of the state of the sewage sump, which allow to determine the degree of contamination, and choose the most environmentally and economically expedient method of cleaning them for use in the irrigation system of plantings. Currently, the problem of finding alternative sources of water supply, solving the problem of water shortage even for irrigation of plantings, not to mention the needs of irrigated agriculture, is of paramount importance for the city of oil workers of Zhanaozen. Relevant and timely is the geochemical assessment of water pollution and bottom sediments of the sewage settling tank of urban sewage treatment plants, which allows us to analyze the special situation in the area of the settling tank and develop ways to solve the use of these waters for surface irrigation of urban plantations. Water sampling was carried out in accordance with GOST R 51592-2000. Selection and storage of bottom sediments were carried out in accordance with the requirements of GOST

17.1.5.01-80. Water pH was determined using a portable Hanna pH meter. Determination of oil content was carried out according to a certified method of extraction-photometric method by the analyzer, the content of petroleum products "АН-2". Statistical data processing was performed in the environment of the analytical software interface Statistica 10. The choice of the analysis method using Kruskal-Wallis ANOVA test statistics was determined by a small volume of research samples with different distribution laws. GIS family programs (Google Maps, SAS Planet) were used to create a schematic map of the area where the wastewater sump is located. The results of the assessment of the degree of contamination of the sump, located almost within the city of Zhanaozen, with an insufficient degree of water treatment, which turns it into a "man-made" object, allow us to develop and choose the most economically feasible and environmentally friendly solar water treatment plant, in order to solve the problem of irrigation water shortage, for the green spaces of the city of oil workers.

**Key words:** Sedimentation tank, waste water, bottom sediments, heavy metals, water pollution index, total pollution index.

Г.Ж. Кенжетаев, С. Сырлыбекқызы, Ш.Х. Баймукашева

Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті,  
Қазақстан, Ақтау қ., \*e-mail: Samal\_86a@mail.ru

**Аридті аймақта пайдалану және тазарту жолдарын әзірлеу үшін  
сарқынды су тұндырғышының ластану дәрежесін  
экологиялық-геохимиялық бағалау**

Мақалада ластанудың дәрежесін анықтауға және екпелерді суару жүйесінде пайдалану үшін оларды тазалаудың экологиялық және экономикалық мақсатты тәсілін таңдауға мүмкіндік беретін сарқынды су тұндырғышының жай-күйін зерттеу нәтижелері келтірілген. Қазіргі уақытта Жаңаөзен қаласының мұнайшылары үшін сумен қамтамасыз етудің баламалы көздерін іздеу, суармалы егіншіліктің мұқтаждықтары туралы айтпағанда, тіпті көшеттерді суаруға су жетіспеу мәселесін шешу мәселесі бірінші кезекте тұр. Тұндырғыш ауданындағы ерекше жағдайды талдауды орындауға және осы суларды қала екпелерін жер үсті суару үшін пайдалануды шешу жолдарын әзірлеуге мүмкіндік беретін қалалық көріздік тазарту құрылыстарының сарқынды сулар тұндырғышының суының және су түбінің шөгінділерінің ластануын геохимиялық бағалау өзекті және уақтылы болып табылады. Су сынамаларын іріктеу МЕМСТ Р 51592-2000 сәйкес жүргізілді. Түбіндегі шөгінділерді іріктеу және сақтау ГОСТ 17.1.5.01-80 талаптарына сәйкес жүргізілді. Судың қышқылдылығын анықтау портативті рН-метр Hanna арқылы жүргізілді. Мұнай өнімдерінің құрамын анықтау "АН-2" мұнай өнімдерінің құрамын талдағышта аттестатталған әдіс бойынша экстракциялық-фотометриялық әдіспен жүргізілді. Деректерді статистикалық өңдеу Statistica 10 аналитикалық бағдарламалық интерфейсінің ортасында жүргізілді. Краскел-Уоллис (Kruskal-Wallis ANOVA) критерийі статистикасының көмегімен талдау әдісін таңдау әртүрлі таралу заңдарымен зерттеулер іріктемелерінің аз көлемін анықтады. ГАЗ (Google Maps, SAS Planet) тобының бағдарламалары зерттелетін сарқынды су тұндырғышының орналасқан ауданында карта-схеманы құру үшін пайдаланылды. Жаңаөзен қаласының шегінде орналасқан тұндырғыштың су тазарту дәрежесі жеткіліксіз ластану дәрежесін бағалау нәтижелері, бұл оны "техногендік" объектіге айналдырады, мұнайшылар қаласының жасыл екпелері үшін суармалы су тапшылығы проблемасын шешу мақсатында суды барынша экономикалық тұрғыдан тиімді және экологиялық таза гелиосқабілеттілігін әзірлеуге және таңдауға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** тұндырғыш, ағынды сулар, түптік шөгінділер, ауыр металдар, судың ластану индексі, жиынтық ластану көрсеткіші.

**Введение**

В городе нефтяников Жанаозен недостаточно очищенные сточные воды (СВ) городских канализационных очистных сооружений (КОС), сбрасываются в отстойник, представляющий собою частично обвалованную земляную емкость. В отстойнике постоянно содержатся СВ различной степени загрязнения, которые находятся в нем до определенного «критического» времени. И, это время уже прошло. Особая роль отстойни-

ка СВ в том, что, находясь в черте города, практически «техногенный» объект представляет из себя источник создания «критической» экологической и санитарно-эпидемиологической ситуации для населения. Но, вместе с этим, в условиях аридной зоны Мангистауской области все виды сточных вод – перспективный ресурс водообеспечения с их использованием в системе полива городских древесно-кустарниковых насаждений. Полив зеленых насаждений очищенными сточными водами широко распространен

в США, Германии, Израиле, Латинской Америке, Австралии, средиземноморских и арабских странах, в Северной Африке и Индии [1].

В прудах-отстойниках (буферные пруды) концентрация ЗВ во взвешенных веществах и в верхних слоях донных отложений (ДО) намного выше, чем концентрация веществ, растворенных в водной толще. Донные отложения могут выступать в качестве индикатора для выявления состава, интенсивности и масштаба техногенного загрязнения, т.к. их состав отражает биогеохимические особенности площадных отстойников сточных вод. ДО могут рассматриваться как один из главных источников вторичного загрязнения волной среды. Это обуславливает их исследование для определения путей потенциальной геохимической миграции [2]. Актуальной и своевременной является геохимическая оценка загрязнения воды и донных отложений отстойника СВ КОС, позволяющая выполнить анализ особой ситуации в районе отстойника и разработать пути решения использования этих вод для поверхностного полива городских насаждений.

*Цель работы.* Изучение химического состава и уровня техногенности отстойника сточных вод, для выбора экологически и экономически целесообразного пути решения проблемы очистки и использования их в системе полива насаждений.

### Материалы и методы исследований

Материалы, положенные в основу работы, получены во время полевых исследований в весенний и летний периоды 2019 г. Пробы воды и донных отложений отбирались в одних и тех же точках. Точки отбора проб были выбраны с учетом повторяемости ветра по направлениям света. Фоновая точка 1 для отбора проб воды и эта же точка 1<sub>(ДО)</sub> выбрана для сравнения значений загрязняющих веществ с данными фоновых значений по области. Выбор сделан при визуальном осмотре, согласно которому юго-западная часть отстойника, на наш взгляд, была менее загрязнена. Кроме этого, точка 1 (фон) удалена от точки 4 (водовыпуск) на 1675 м.

Из каждой точки были отобраны пробы воды для гидрохимического анализа. Одновременно проводился отбор проб воды, донных отложений для последующего лабораторного анализа на предмет содержания ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов. Отбор проб воды проводил-

ся в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000. Отбор и хранение ДО проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01-80. Определения pH воды проводили с помощью портативного pH-метра Hanna. Определения проводились в нефилтрованных пробах. Химические анализы воды по показателям: сухой остаток, хлорид-ионы, железо общее, перманганатная окисляемость, тяжелые металлы и нефтепродукты, проводились по аттестованным методикам. Определение содержания нефтепродуктов проводили по аттестованной методике экстракционно-фотометрическим методом на анализаторе содержания нефтепродуктов «АН-2» (Методика измерений, 2011). Пробы воды и донных отложений анализировались на содержание тяжелых металлов (Cu, Cd, Zn, Cr<sup>3+</sup>) в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-2002 «Методика измерений валового содержания кадмия, меди, хрома и цинка в почвах, донных отложениях, осадках сточных вод и отходах», и металлоида As по ПНД Ф 16.1:2.2:3.17-98 (изд. 2004 г.) «Методик выполнения измерения массовой доли (валового содержания) мышьяка, на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915М (Люмекс, Россия), с плазменной атомизацией в аккредитованной лаборатории управления природных ресурсов и рационального природопользования (УПРиРП) Мангистауской области, согласно методике (М-МВИ-80-80-2008) [3, 4]. Погрешность составила 20-30%. Образцы донных отложений предварительно высушивали до воздушно-сухого состояния, затем удаляли механические включения.

*Статистическую обработку* данных проводили в среде аналитического программного интерфейса Statistica 10. Выбор метода анализа с помощью статистики критерия Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis ANOVA) определяли малым объемом выборок исследований с разными законами распределения. Статистика критерия Краскела-Уоллиса в основном схожа с параметрическим однофакторным дисперсионным анализом (One-way ANOVA), но этот критерий основан на более высоких рангах, чем на средних.

*Методы геоинформационных систем (ГИС).* Программы семейства ГИС (Google Maps, SAS-Planet), были использованы для создания карты-схемы в районе расположения исследуемого отстойника сточных вод. Редактирование карты-схемы, выполняли при помощи графических программ CorelDraw 11 и Paint (Windows XP) [5, 6, 7].

## Результаты исследований и их обсуждение

Исследование и изучение гидрохимических показателей отстойника сточных вод (СВ) канализационных очистных сооружений (КОС) г. Жанаозен в весенний и летний периоды позволяют оценить ее состояние в настоящее время. Необходимо отметить, что при выборе точек отбора проб воды в отстойнике нами выбран подход учета, повторяемости ветра по сторонам света, что оказывает немаловажное влияние на сток воды в сторону большей повторяемости ветра (нагон воды) и накоплению загрязняющих веществ (ЗВ) в точках с наименьшей. Мангистауской области присущи ветры с высокой скоростью и большей повторяемости господствующего ветра, в основном восточных и юго-восточных направлений. Такой подход, а также сравнение гидрохимических показателей по временам года, техногенного отстойника в полной мере позволят получить необходимое представление о степени его загрязнения с точностью до региональных гидрохимических особенностей сухого и жаркого климата с сильными ветрами [8, 9, 10].

В этой связи, фоновая точка 1 (ЮЗ) на юго-западе отстойника выбрана с наименьшей повторяемостью ветра 6% и расположенная от точки 1, сброса сточной воды в отстойник на расстоянии порядка 1500 м. Самая наибольшая повторяемость ветра в восточном направлении – 23% (точка 4), в районе сброса сточной воды, и наименьшая – на юго-западе отстойника 6% (фоновая точка 1). В точках 2 (запад) и точке 3 (север) повторяемость ветра 10% и 14% соответственно. По результатам изучения весной и летом 2019 г. установлено, что вода в отстойнике имеет в основном слабощелочную реакцию в фоновой точке 1 (ЮЗ), точке 3 (С) и 4 (В), и только в точке 2(З) в западной части отстойника, вода щелочная – рН 8,9 весной. В целом наблюдается незначительное снижение величины рН в летнее время, что связано с выпадением в то время осадков в виде дождя (июнь и июль 2019 г.).

Высокое содержание показателя ХПК, в частности содержание органики, даже в фоновой точке 1, весной – 49 мг/дм<sup>3</sup> с увеличением ХПК летом до 53 мг/дм<sup>3</sup>, объясняется смывом ЗВ с сильно замусоренных берегов отстойника и прилегающей территории. Наибольший показатель ХПК зафиксирован в точке 2 на западе отстойника, превышающий ПДК в более чем в 2 раза (весной – 63 мг/дм<sup>3</sup> и летом – 71 мг/дм<sup>3</sup>),

связанный с тем, что в этом районе расположен временный полигон ТБО.

Сухой остаток (СО) – общая загрязненность СВ по результатам выпаривания, высушивания и прокаливания, то есть соотношение органической минеральной частей в сухом остатке. СО по результатам анализа проб воды ни в одной из точек не превышает показатель ПДК. Это объясняется тем, что почвы на глубине порядка 1,5-2,0 метра сложены из известняковых пород, через которые происходит просачивание не только загрязненных СВ, но и осадков.

Перманганатная окисляемость (ПО) не только характеризует содержание в воде легко окисляемых органических веществ, но и позволяет судить о степени органического загрязнения [11]. Для водоемов, не подверженных значительному загрязнению, этот показатель составляет величину в пределах 5-12 мг О<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup>. В сторону точки 2 на западе отстойника, куда в основном с восточной стороны, с места выпуска СВ из КОС, в результате повторяемости ветра (24%) и потока водовыпуска в точке 4, направлен основной нагон воды. Поэтому в этой точке ПО составила весной 8,3 мг О<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup> со снижением до 6,4 мг О<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup> летом, что позволяет судить об антропогенном воздействии в этом районе. В фоновой точке 1 (ЮЗ) и северной точке 3, где отстойник имеет незначительные уклоны, показатели ПО относительно низкие.

Наибольшее превышение ПДК содержания в воде отстойника хлорид-ионов зафиксировано в точке 4, в районе сброса СВ из КОС, 596 мг/дм<sup>3</sup> весной и 618 мг/дм<sup>3</sup> в летнее время, с превышением ПДК в 1,7 и 1,8 раза соответственно. Незначительные превышения наблюдаются в точках 2 и 3, 1,26 ПДК и 1,32 ПДК соответственно. В фоновой точке содержание хлоридов менее величины ПДК. Высокое содержание хлоридов в отстойнике, в точке 4 (водовыпуск КОС) (1,62 ПДК весной и 1,76 ПДК летом), объясняется сбросом в систему очистных сооружений, концентрированной технической воды с высоким содержанием солей и регенерационного раствора поваренной соли с участков химводоподготовки котельных.

Количество сульфатов в отстойнике незначительное, во всех точках отбора проб воды, за исключением участка отстойника в точке 4, куда выпадают практически неочищенные сточные воды канализации. Так, в точке 4 (водовыпуск КОС) зафиксировано увеличение превышения сульфатов до 1,41 ПДК весной и до 1,52 ПДК в летнее время.



Содержание фосфат-ионов в отстойнике также незначительное, без превышения ПДК. Только в точке 4 (водовыпуск КОС) содержание фосфат-ионов близко к ПДК, 0,88 ПДК весной и 0,91 ПДК летом.

Основной источник поступления аммонийного азота – сброс воды из очистных сооружений. Так, превышение над ПДК аммонийного азота в точке 4 (водовыпуск КОС) весной составило 3,2 ПДК и 4,1 ПДК в летнее время. Увеличение концентрации этого ЗВ – результат свежего загрязнения. На фоновой точке 1 и северной точке 3 превышения ПДК нет. В точке 2 (запад), напротив водовыпуска КОС, концентрация аммонийного азота в воде отстойника изменялась незначительно, с превышением ПДК от 1,1 ПДК весной до 1,3 ПДК летом.

Анализ воды на содержание железа проведен по показателю «Железо общее» [12]. Превышения ПДК по железу общему зафиксировано во всех точках отбора. Наибольшая концентрация железа  $Fe_{\text{общий}}$  в воде отстойника в северной точке 3, 4,33 ПДК весной и 3,0 ПДК в летнее время, и точке 2, 3,66 ПДК весной и 2,33 ПДК летом связана со смывом ЗВ с прилегающей очень замусоренной территории, на которой расположены цеха подготовки металлических изделий. Вместе с тем, снижение концентрации железа в летнее время связано с щелочной средой воды отстойника. Так, на фоновой точке 1 летом концентрация  $Fe_{\text{общий}}$  уменьшилась от 1,66 до 0,66 ПДК.

По содержанию меди, превышение ПДК в точке 4 (водовыпуск КОС) в 2,6 ПДК летом и 2,8 ПДК весной объясняется возможностью поступления меди со стоками КОС. В точке 3 – 2,8 ПДК весной и 4,0 ПДК летом. Для точки 2 – 3,4 ПДК весной 4,2 в летнее время. Возрастание концентрации Си в этих точках в летний период года связано с наличием полигона ТБО в западной части отстойника, в нескольких метрах от точки 2. В фоновой точке 1 превышения ПДК нет.

Концентрация мышьяка, превышающая ПДК, отмечена в точке 3 (6,0 ПДК весной и 7,0 ПДК летом) на севере отстойника. Это объясняется сливом в отстойник стоков промышленных предприятий, а также вероятностью вымывания мышьяка из почв береговых участков близ этой точки. Это предположение обосновано тем, что в других точках 1, 2 и 4, содержание As меньше величины ПДК. Даже при том, что превышение ПДК по мышьяку зафиксировано только в точке 3, тем не менее, в содержании As в воде прослеживается высокая корреляционная связь ( $r=0,8$ ),

статистически значимая с вероятностью 0,98.

Содержание кадмия во всех точках пробоотбора воды из отстойника СВ КОС ниже предельной величины, за исключением 3 точки, в которой очень высокое превышение ПДК (весной 30 ПДК, летом 37 ПДК). Это скорее всего результат попадания в воду стоков от множества банок изпод краски, которые свалены в этом районе, и других стоков.

Прослеживается высокая положительная корреляционная связь ( $r = 0,73$ ) содержания кадмия Cd в воде отстойника, статистически значимая с вероятностью 0,93.

Превышение цинком ПДК в воде отстойника, зафиксировано в точках во всех точках кроме фоновой точки 1. Так, в точке 2 превышение составило 1,5 ПДК весной и 1,7 ПДК летом, для точки 3 весной 1,8 ПДК и 2,1 ПДК в летнее время, а также 1,1 ПДК и 1,2 ПДК для точки 4, весной и летом соответственно. Известно, что цинк попадает со стоками промышленных предприятий, а также вымывается из коммуникационных труб. Это дает основание утверждать, что сточные воды очистных сооружений являются источником загрязнения отстойника Zn. Концентрация хрома в воде ниже ПДК.

Что касается нефтепродуктов (НП), превышение ПДК в воде отстойника отмечается только в северной точке 3, в пределах 3,0 ПДК весной и 5,0 ПДК летом. Причина этого, в несанкционированном сливе жидких отходов нефтепродуктов промышленных предприятий автохозяйств и автозаправок. В других точках концентрация НП ниже показателя ПДК. Динамика содержания загрязняющих веществ в воде отстойника показана на рисунке 1. Результаты анализов концентрации ЗВ в отстойнике и данные, представленные в виде (mean±sd) median (range) – среднего±стандартного отклонения, представлены в таблице 1.

Результаты исследований и анализа содержания тяжелых металлов и металлоида мышьяка, а также нефтепродуктов приведены в таблице 3.

Содержание меди в ДО. Фоновая точка 1<sub>до</sub>. Концентрация Си, менее ПДК РК, но фоновые значения по области превышены (1,08 и 1,13 ПДК, весной и летом 2019 г. соответственно). Наибольшее превышение ПДК медью в северной точке 3<sub>до</sub>. Превышение ПДК РК составляет 1,79 весной и 1,9 ПДК летом, а фоновые значения (ФЗ) Мангистауской области (МО) превышены более, чем в три раза. Наибольшее концентрации металлоида мышьяка зафиксированы в точках 3<sub>до</sub> и 4<sub>до</sub>. Содержание As, в точках 3<sub>до</sub> и

4<sub>до</sub>, по отношению к ПДК РК (7,05 и 7,5 ПДК) и (6,0 и 7,5 ПДК весной и летом соответственно). А фоновые значения превышены в среднем на величину 1,6 ПДК. Повышенное значение фоновый показатель области по мышьяку 8,7 мг/кг при ПДК РК, равном 2,0 мг/кг, объясняется тем, что повышенное содержание металлоида в почвах области имеет природный характер. По

кадмию превышение ПДК РК (0,5 мг/кг) в точке 3<sub>до</sub> составляет 1,46 и 1,8 ПДК, а фоновый показатель (0,13 мг/кг) превышен на 5,62 и 6,92 ПДК весной и летом соответственно. По цинку превышения ПДК РК (110 мг/кг) нет, при этом концентрация Zn в точке 3<sub>до</sub> больше фонового значения региона (23,0 мг/кг). Так, в точке 3<sub>до</sub> – 1,18 и 1,21 ПДК.

Таблица 1 – Содержание загрязняющих веществ в отстойнике СВ КОС, мг/дм<sup>3</sup>

Показатель ЗВ в отстойнике СВ	ПДК*	№ точки отбора проб воды							
		Фон 1 (ЮЗ)**		2 (З)**		3 (С)**		4 (В)**	
		2019 г.		2019 г.		2019 г.		2019 г.	
		Весна	Лето	Весна	Лето	Весна	Лето	Весна	Лето
		Mean±SD							
рН	6,5-8,5	7,8±0,06	7,7±0,04	8,9±0,05	8,6±0,07	8,5±0,04	8,3±0,07	7,7±0,03	7,5±0,0,05
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	30	49±0,03	53±0,07	63±0,03	71±0,05	57±0,04	59±0,06	44±0,06	47±0,03
Сухой остаток	< 1000	703±0,04	671±0,05	862±0,04	797±0,04	619±0,06	639±0,03	882±0,06	853±0,04
Пермангантная окисляемость	7,0	1,3±0,05	0,8±0,04	8,3±0,05	6,4±0,03	3,3±0,04	2,9±0,05	2,7±0,04	2,4±0,07
Хлорид ионы, мг/дм <sup>3</sup>	350	239±0,04	247±0,04	441±0,03	457±0,05	396±0,05	405±0,03	596±0,04	618±0,06
Сульфат ионы, мг/дм <sup>3</sup>	500	173±0,03	191±0,04	289±0,03	279±0,04	283±0,03	281±0,04	703±0,02	761±0,04
Фосфат ионы, мг/дм <sup>3</sup>	3,5	2,7±0,05	2,3±0,04	3,1±0,04	2,9±0,03	2,6±0,03	2,7±0,05	3,1±0,04	3,3±0,05
Азот аммонийный	1,5	0,9±0,03	1,2±0,03	1,7±0,05	1,9±0,04	1,3±0,04	1,1±0,03	4,9±0,04	6,1±0,03
Fe общий, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,5±0,03	0,2±0,04	1,1±0,04	0,7±0,05	1,3±0,03	0,9±0,04	0,7±0,05	0,4±0,04
Cu, мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0,001±0,03	0,001±0,03	0,17±0,1	0,21±0,04	0,14±0,03	0,2±0,04	0,13±0,1	0,14±0,04
As, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,6±0,04	0,7±0,03	< 0,1	< 0,1
Cd, мг/дм <sup>3</sup>	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,03±0,92	0,04±0,1	< 0,001	< 0,001
Zn, мг/дм <sup>3</sup>	1,0	0,9±0,04	0,7±0,03	1,5±0,02	1,7±0,04	1,8±0,03	2,1±0,04	1,1±0,03	1,2±0,04
Cr общий, мг/дм <sup>3</sup>	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Нефте-продукты	0,1	0,08±0,04	0,09±0,03	0,08±0,1	0,09±0,04	0,3±0,03	0,5±0,02	0,05±0,1	0,07±0,03

\* – значения ПДК для сброса сточных вод в водоемы (ГН 2.1.5. – 1315 – 03)

\*\* – ориентация точек отбора проб воды по сторонам света

Что касается хрома, то его содержание превышает как ПДК РК, так и ФЗ МО в целом. Согласно результатам анализа, наибольшие показатели концентрации Cr<sup>3+</sup> опять же в точках 3<sub>до</sub>

и 4<sub>до</sub> в среднем в пределах 1,1 ПДК, при ПДК РК (41,0 мг/кг). Фоновые значения ФЗ МО в этих точках 3<sub>до</sub> и 4<sub>до</sub> превышены более чем в 3,0 раза.

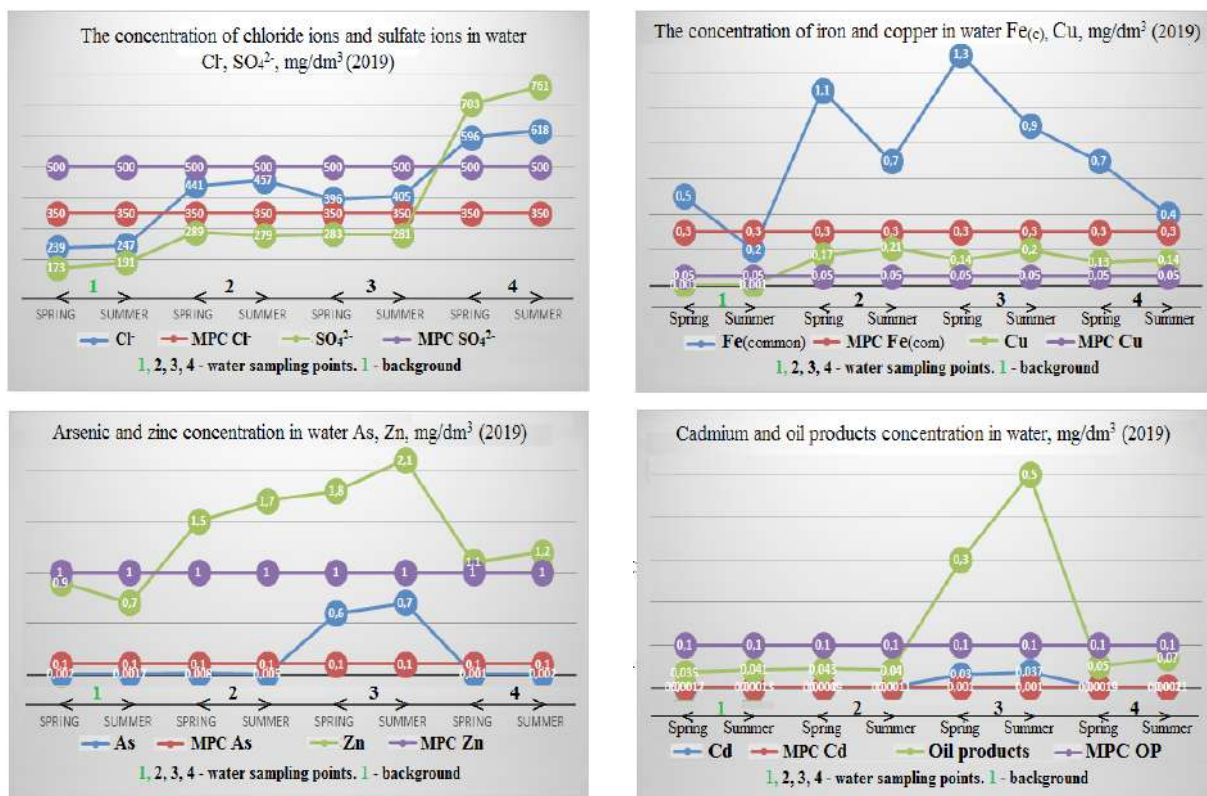


Рисунок 1 – Содержание ЗВ в воде отстойника СВ КОС

Загрязнение ДО нефтепродуктами (НП), по результатам исследований, только в точке 3<sub>ДО</sub>. Концентрация НП в этой точке выше ФЗ МО в 2,4 раза. При этом превышения ПДК РК (110 мг/кг) по всем точкам нет. Наибольшие concentra-

ции ТМ и металлоида в северной точке 3<sub>ДО</sub> объясняются высокой сорбирующей способностью ее донных отложений как с поверхности воды, так и из-за смыва осадками и слива загрязнений с береговой части отстойника

Таблица 2 – Содержание ЗВ в донных отложениях отстойника СВ КОС, мг/кг

Элементы	ПДК*	Фон**	№ точки отбора проб донных отложений из отстойника СВ КОС							
			Фон 1 <sub>(ДО)</sub> (ЮЗ)***		2 <sub>(ДО)</sub> (З)***		3 <sub>(ДО)</sub> (С)***		4 <sub>(ДО)</sub> (В)***	
			2019 г		2019 г		2019 г		2019 г	
			Весна	Лето	Весна	Лето	Весна	Лето	Весна	Лето
Mean±SD										
Сu, мг/кг	33,0	19,0	20,7±0,04	21,5±0,06	34±0,03	38,0±0,02	59,3±0,07	63±0,03	27±0,02	29,3±0,06
As, мг/кг	2,0	8,7	7,3±0,01	7,9±0,03	9,2±0,01	11,3±0,05	14,1±0,06	15±0,03	13±0,04	15±0,02
Cd, мг/кг	0,5	0,13	0,04±0,03	0,06±0,05	0,1±0,02	0,11±0,06	0,73±0,03	0,9±0,02	0,09±0,2	0,07±0,1
Zn, мг/кг	110	23,0	9,3±0,05	9,7±0,03	13±0,02	13,9±0,04	27,3±0,06	28±0,03	18±0,05	17,3±0,03
Cr <sup>3+</sup> , мг/кг	41,0	14,0	17,3±0,04	18,1±0,02	23±0,04	26,3±0,05	45,7±0,03	47±0,02	43±0,05	46,2±0,03
НП, мг/кг	100	35,0	11,5±0,03	13,7±0,05	17±0,03	18,3±0,04	51,3±0,06	54±0,03	24±0,03	26±0,05

\* - ПДК РК. (Совместный приказ Министерства здравоохранения РК от 30. 01. 2004 г. № 99 и Министерства охраны ОС РК от 27. 01. 2004 г. № 21-п).

\*\* – данные по фоновому содержанию ТМ в ДО отстойников и накопителей СВ Мангистауской области

\*\*\* – ориентация точек отбора проб (донных отложений) ДО по сторонам света

Таблица 3 – Данные статистической обработки результатов исследований в точке З<sub>(ДО)</sub>

ЗВ	Ранговые корреляции Спирмена						Критерий Kruskal-Wallis ANOVA	One-way ANOVA
	Cu	Zn	As	Cd	Cr <sup>3+</sup>	НП	<i>p</i>	
Cu	1,0000	0,3684	0,1032	<b>0,7693</b>	<b>0,6791</b>	0,2511	0,01	< 0,001
As	0,1028	0,2462	1,0000	0,4072	<b>-0,260</b>	0,3925	0,924	0,3174
Cd	<b>0,7693</b>	0,4712	0,4072	1,0000	<b>0,6827</b>	0,3170	0,01	< 0,001
Zn	0,3684	1,0000	0,2462	0,4712	0,4175	0,2173	0,037	0,4713
Cr <sup>3+</sup>	<b>0,6791</b>	0,4175	<b>-0,260</b>	<b>0,6827</b>	1,0000	0,1902	0,03	< 0,001
НП	0,2511	0,2173	0,3925	0,3170	0,1902	1,0000	0,04	0,075

Статистическая обработка результатов исследований. В таблице 3 представлены результаты анализа данных исследований в среде Statistica 10.

Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты, показывающие наличие «тесной» корреляционной связи между соответствующими ТМ и металлоидом.

Согласно ранговых корреляций Спирмена, содержание хрома Cr<sup>3+</sup> отрицательно коррелирует с содержанием As ( $r = -0,260$ ) в точке З<sub>(ДО)</sub>. Это объясняется тем, что Cr<sup>3+</sup> хорошо поглощается донными отложениями (выступает в роли катиона). Также хром обладает малой техногенностью [13]. «Тесные» корреляционные связи между тяжелыми металлами Cu, Cd и Cr<sup>3+</sup> свидетельствуют о наличии еще одного источника загрязнения, кроме сброса сточных вод в точке 4. Этим источником является временный накопитель отходов автохозяйств и автозаправок, а также мастерские в точке З<sub>(ДО)</sub>.

Критерий Краскела-Уоллиса статистически значим только для Cu, Cd и Cr<sup>3+</sup> ( $p < 0,05$ ). Вместе с этим однофакторный дисперсионный анализ установил высокий уровень значимости для Cu, Cd и Cr<sup>3+</sup> ( $p < 0,001$ ). Различия содержания нефтепродуктов в точке З<sub>(ДО)</sub>, согласно непараметрической статистике критерия Краскела-Уоллиса, были охарактеризованы как статистически значимые ( $p < 0,04$ ), но при этом однофакторный дисперсионный анализ свидетельствует о несущественных различиях ( $p < 0,075$ ). Установлено, что донные отложения в исследуемых точках отстойника СВ КОС значимо отличаются по содержанию Cu, Cd и Cr<sup>3+</sup>. Карта-схема района исследования, выполненная в среде программ Google Maps и SASPlanet, представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Карта-схема района исследований

## Выводы

В результате гидрохимического анализа загрязнение воды установлено в северной точке 3 отстойника СВ КОС г. Жанаозен. Так, по железу общему в точке 3 самая высокая концентрация с превышением 4,33 ПДК весной и 3,0 ПДК в летнее время. Превышение концентрации металлоида As над ПДК в точке 3 (6,0 ПДК весной и 7,0 ПДК летом). По содержанию Cd в точке 3 превышение ПДК (весной 30 ПДК, летом 37 ПДК).

Превышение цинком Zn ПДК преобладает в 3 точке, весной 1,8 ПДК и 2,1 ПДК в летнее время. Превышение ПДК по содержанию НП, превышение ПДК в северной точке 3, в пределах 3,0

ПДК весной и 5,0 ПДК. Это связано с незначительным уклоном от центральной к северной части отстойника, а также несанкционированным сливом отходов нефтепродуктов автохозяйств и автозаправочных станций.

Таким образом, результаты оценки степени загрязнения отстойника, находящегося практически в черте г. Жанаозен, с недостаточной степенью очистки вод, что превращает его в «техногенный» объект, позволяют разработать и выбрать наиболее экономически целесообразный и экологически чистый геиоспособ очистки вод с целью решения проблемы дефицита поливной воды для зеленых насаждений города нефтяников.

## Литература

- 1 Skeffington R. A., Halliday S. J., Wade A. J., Bowes M. J. Using high-frequency water quality data to assess sampling strategies for the EU Water Framework Directive. *Hydrol // Earth Syst. Sci.* – 2015. – no. 9. – P. 2491–2504. doi.:10.5194/hess-19-2491-2015.
- 2 Syrlybekkyzy S., Kenzhetaev G. Zh., Akbasova A., Nurbayeva F.K., Koibakova S. Creation of database of the coastal zone of the Caspian Sea soil condition using GIS technologies // *Biosciences Biotechnology Research Asia.* – 2015. – no. 12. – P. 2495-2503. doi.: 10.13005/bbra/1929.
- 3 МВИ20658-1917-ТОО НПО 001-2018. Методика выполнения измерений. Качество воды и экстракты почв. Измерение показателей состава спектрометром лабораторным «DR-2400». МВИ метрологически аттестована РГП «КазИнМетр».
- 4 Воронов Ю.В., Саломеев В.П., Гогина Е.С. Методологические основы реконструкции очистных сооружений водоотведения: Монография. – М.: Издательство МИСИ-МГСУ, 2012. – 124 с.
- 5 Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Мещерякова О.Ю. Опыт очистки подземных вод от нефтяного загрязнения биологическими методами // *Промышленная безопасность и экология.* – 2009. – № 4(37). – С. 34-36.
- 6 Иванков С.И., Жосан В.А., Иванков Р.С. Современные способы очистки и утилизации сточных вод и их осадков на основе запатентованных технических решений // *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды.* – 2007. – №2. – С. 91.0
- 7 СП Министерства здравоохранения РК от 30. 01. 2004 г. № 99 и Министерства охраны ОС РК от 27. 01. 2004 г. №21-п.
- 8 Kumar J., Zhao Y. A review on numerous modeling approaches for effective, economical and ecological treatment wetlands // *Journal of Environmental Management.* – 2011. – Vol. 92. – P. 400-406. doi.:10.1016/j.jenvman.2010.11.012.
- 9 Ariel K.W., Francina D.A., Arthur R.S. Extreme Precipitation Spatial Analog: In Search of an Alternative Approach for Future Extreme Precipitation in Urban Hydrological Studies // *Water.* – 2019. Vol. 11. – P. 1032. doi.: 10.3390/w11051032.
- 10 Chujko E.V., Popova O.V. The accumulation of heavy metals in sediments of the western part of the north Caspian // *South of Russia: ecology, development.* 2014. – Vol. 8. – P. 11-15. doi.: 10.18470/1992-1098-2013-1-11-15.
- 11 Коновалова Э.Е. Анализ зарубежных методик содержания тяжелых металлов в донных отложениях рек // *Международный студенческий научный вестник.* – 2018. – № 6.
- 12 Ebru Y.Ö., Eutrofik B., Körfezde İ. A New Assessment of Heavy Metal Contaminations in an Eutrophicated Bay // *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* – 2012. – Vol. 12. – P. 135-147. doi.: 10.4194/1303-2712-v12.1.16.
- 13 Wu H., Zhang J., Ngo H.H., Guo W. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation // *Bioresource Technology.* – 2015. – Vol. 175. – P. 594-601. doi.:10.1016/j.biortech.2014.10.068.

## References

- 1 Skeffington, R. A., Halliday, S. J., Wade, A. J., Bowes, M. J. “Using high-frequency water quality data to assess sampling strategies for the EU Water Framework Directive. *Hydrol*”. *Earth Syst. Sci.* 9 (2015): 2491–2504. doi.:10.5194/hess-19-2491-2015.
- 2 Syrlybekkyzy, S., Kenzhetaev, G. Zh., Akbasova, A., Nurbayeva, F.K., Koibakova, S. “Creation of database of the coastal zone of the Caspian Sea soil condition using GIS technologies”. *Biosciences Biotechnology Research Asia* 12 (2015): 2495-2503. doi.: 10.13005/bbra/1929.
- 3 MVI 20658-1917-TOO NPO 001-2018. Metodika vypolneniya izmerenij. Kachestvo vody i ekstrakty pochv. Izmerenie pokazatelej sostava spektrometrom laboratornym «DR-2400». MVI metrologicheski attestovana RGP «KazInMetr».
- 4 Voronov YU.V., Salomeev V.P., Gogina E.S. Metodologicheskie osnovy rekonstrukcii ochistnyh sooruzhenij vodootvedeniya [Methodological bases of reconstruction of wastewater treatment facilities] Monograph. M.: Izdatel'stvo MISI-MGSU. 2012.

5 Maksimovich, N.G., Hmurchik, V.T., Meshcheryakova, O.YU. “Opyt ochildki podzemnyh vod ot neftyanogo zagryazneniya biologicheskimi metodami” [Experience in cleaning underground water from oil pollution using biological methods]. *Industrial safety and ecology*. 37 (2009): 34-36.

6 Ivankov, S.I., ZHosan, V.A., Ivankov, R.S. “Sovremennye sposoby ochildki i utilizacii stochnyh vod i ih osadkov na osnove zapatentovannyh tekhnicheskikh reshenij” [Modern methods of treatment and disposal of waste water and its sediments based on patented technical solutions]. *Scientific and technical aspects of environmental protection*. No 2 (2007): 91.

7 SP Ministerstva zdavoohraneniya RK ot 30. 01. 2004. № 99 i Ministerstva ohrany OS RK ot 27. 01. 2004. No 21.

8 Kumar, J., Zhao, Y. “A review on numerous modeling approaches for effective, economical and ecological treatment wetlands”. *Journal of Environmental Management* 92 (2011): 400-406. doi.:10.1016/j.jenvman.2010.11.012.

9 Ariel, K.W., Francina, D.A., Arthur, R.S. “Extreme Precipitation Spatial Analog: In Search of an Alternative Approach for Future Extreme Precipitation in Urban Hydrological Studies”. *Water* 11 (2019): 1032. doi.: 10.3390/w11051032.

10 Chujko, E.V., Popova, O.V. “The accumulation of heavy metals in sediments of the western part of the north Caspian”. *South of Russia: ecology, development* 8 (2014): 11-15. doi.: 10.18470/1992-1098-2013-1-11-15.

11 Konovalova, E.E. “Analiz zarubezhnyh metodik sodержaniya tyazhelyh meetallov v donnyh otlozheniyah rek” [Analysis of foreign methods of heavy metal content in bottom sediments of rivers]. *International student scientific Bulletin* No 6 (2018).

12 Ebru, Y.Ö., Eutrofik, B., Körfezde, İ. “A New Assessment of Heavy Metal Contaminations in an Eutrophicated Bay”. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 12 (2012): 135-147. doi.: 10.4194/1303-2712-v12.1.16.

13 Wu, H., Zhang, J., Ngo, H.H., Guo, W. “A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation”. *Bioresource Technology* 175 (2015): 594-601. doi.:10.1016/j.biortech.2014.10.068.

**Н.С. Кожабергенов\*, Э.Т. Тайлакова, А.У. Исабек,  
Е.Д. Бурашев, К.Т. Султанкулова, А.С. Рсалиев**

Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности,  
Казахстан, пгт. Гвардейский, Кордайский район, Жамбылская область,  
\*e-mail: nurlanks@gmail.com

## **РАЗРАБОТКА ДУПЛЕКСНОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЫ ПЦР ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ СЕПТОРИОЗА ПШЕНИЦЫ**

В настоящее время септориоз является одним из наиболее вредоносных и экономически значимых заболеваний пшеницы в мире, особенно в странах с умеренным климатом. Потери от болезни в эпифитотийные годы могут достигать 20-40 %. В Казахстане септориоз занимает одну из доминирующих позиций среди грибных болезней зерновых культур. В связи с неблагоприятной обстановкой в стране по данному виду заболевания требуется быстрая диагностика фитопатогенов для своевременного реагирования и принятия необходимых мер. Для решения этих задач разработана дуплексная тест-система на основе метода полимеразной цепной реакции (ПЦР). При разработке ПЦР тест-системы для дифференциальной диагностики септориоза применены молекулярно-биологические методы, с помощью которых определены наиболее консервативные участки генов грибов *Parastagonospora nodorum* и *Zymoseptoria tritici*. По найденным участкам сконструированы видоспецифичные пары праймеров, пригодные для мультиплексной детекции целевых патогенов. Оптимизированы параметры постановки ПЦР. Разработанная тест-система проверена по параметрам специфичности и чувствительности с применением ДНК грибов *Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum*, *Pyrenophora tritici-repentis*, *Alternaria alternata*, *Alternaria infectoria*, *Fusarium*, *Ascomycota*, *Epicoccum*. Результаты лабораторных испытаний показали, что тест-система работает специфично, и чувствительность составляет 5 пикограмм ДНК в одной реакции.

**Ключевые слова:** *Parastagonospora nodorum*, *Zymoseptoria tritici*, ПЦР, праймеры, ДНК.

N.S. Kozhabergenov\*, E.T. Taylakova, A.U. Isabek,  
Ye.D. Burashev, K.T. Sultankulova, A.S. Rsaliev

The Research Institute for Biological Safety Problems,  
Kazakhstan, Gvardeiskiy, Korday district, Zhambyl Region,  
\*e-mail: nurlanks@gmail.com

### **Development of a duplex PCR test system for differential diagnostics of wheat septoriosis**

Currently, the Septoria leaf spot is one of the most harmful and economically significant wheat diseases in the world, especially in countries with a temperate climate. Losses from the disease in epiphytotic years can reach 20-40%. The Septoria leaf spot is one of the dominant positions among fungal diseases of grain crops in Kazakhstan. Due to the unfavorable situation in the country for this type of disease, in order to timely identify phytopathogens, a duplex test system based on the polymerase chain reaction (PCR) method has been developed. This paper presents the results of studies obtained in the development of PCR test system for differential diagnosis of the Septoria leaf spot. Using the multiple nucleotide alignment method, the most conserved regions of the fungal genes *Parastagonospora nodorum* and *Zymoseptoria tritici* were determined, based on which species-specific primer pairs were constructed. The PCR parameters were optimized. The developed test system was tested for specificity and sensitivity using DNA of the fungi *Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum*, *Pyrenophora tritici-repentis*, *Alternaria alternata*, *Alternaria infectoria*, *Fusarium*, *Ascomycota*, *Epicoccum*. Laboratory test results showed that the test system works specifically, and the sensitivity is 5 picograms of DNA in one reaction.

**Key words:** *Parastagonospora nodorum*, *Zymoseptoria tritici*, PCR, primers, DNA.



Н.С. Қожабергенов\*, Э.Т. Тайлакова, А.У. Исабек,  
Е.Д. Бурашев, К.Т. Султанкулова, А.С. Рсалиев

Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты,  
Қазақстан, Жамбыл облысы, Қордай ауданы, Гвардейский қтк,  
\*e-mail: nurlanks@gmail.com

### Бидай септориозын дифференциалды диагностикалауға арналған дуплексті ПТР сынақ-жүйесін әзірлеу

Қазіргі уақытта септориоз дүние жүзінде, әсіресе климаты қоңыржай елдерде, көп зиян келтіретін және экономикалық елеулі бидай ауруларының бірі болып табылады. Эпифитотиялы жылдарда аурудан болатын шығындар 20–40 % дейін жетуі мүмкін. Қазақстанда септориоз дәнді дақылдардың саңырауқұлақ ауруларының ішінде үстем орын алады. Елдегі бұл ауру бойынша қолайсыз жағдайға байланысты уақтылы әрекет ету және тиісті шараларды қабылдау үшін фитопатогендерді жедел диагностикалау қажеттігі туындайды. Осы міндеттерді шешу мақсатында полимеразды тізбек реакция (ПТР) әдісі негізінде дуплексті ПТР сынақ-жүйесі әзірленді. Септориозды дифференциалды диагностикалауға арналған ПТР сынақ-жүйесін әзірлеу барысында молекулалық биология әдістері қолданылып, *Parastagonospora nodorum* және *Zymoseptoria tritici* саңырауқұлақтарының неғұрлым консервативті гендік аймақтары анықталды. Табылған аймақтар бойынша мультиплексті анықтауға арналған, бір-бірімен үйлесімді жұпты праймерлер құрастырылды. ПТР-ді қою параметрлері оңтайландырылды. *Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum*, *Pyrenophora tritici-repentis*, *Alternaria alternata*, *Alternaria infectoria*, *Fusarium*, *Ascomycota*, *Epicoccium* саңырауқұлақтарының ДНҚ-ларын қолдана отырып жасалған сынақ-жүйенің ерекшелігі мен сезімталдылығы тексерілді. Зертханалық сынақтың нәтижелері сынақ-жүйенің ерекшелік қасиеті жоғары екенін көрсетті және сезімталдылығы бір реакцияда 5 пикограмм ДНҚ-ны құрады.

**Түйін сөздер:** *Parastagonospora nodorum*, *Zymoseptoria tritici*, ПТР, праймерлер, ДНҚ.

### Введение

По современным оценкам, грибы являются наиболее обширной группой организмов, вызывающих болезни растений. Проблема заражения зерновых культур фитопатогенными грибами особо остро стоит для Казахстана, поскольку страна является ярко выраженным лидером в Центральной Азии по производству (9,6 млн тонн в год по оценке 2016 г.) и экспорту пшеницы, а также имеет наиболее обширную площадь пашни в регионе (82,4% от общей площади) [1].

Наиболее опасными представителями прогрессирующих заболеваний пшеницы являются возбудители рода *Septoria*, которые интенсивно нарастают с начала 1980-х годов и в настоящее время распространились повсеместно [2].

Септориоз зарегистрирован более чем в пятидесяти странах мира, преимущественно в широтах с умеренным климатом [3]. Болезнь проявляется на всех надземных органах растений, а при передаче через семена уже начиная с фазы всходов [4]. Вредоносность септориоза листьев и колоса очень велика и состоит в преждевременном засыхании листьев и колосовых чешуй, что сильно ограничивает налив зерна. Зерно формируется щуплое, с низкой натурой и массой 1000

зерен, продуктивность яровой пшеницы падает на 25-56 %. Инфицированные *Parastagonospora nodorum* семена пшеницы имеют пониженную всхожесть [2, 5].

Исследования многих ученых показали, что из видов рода *Septoria*, описанных в качестве патогенов пшеницы, преобладают *Parastagonospora (Septoria) nodorum* и *Zymoseptoria (Septoria) tritici*. Первый вид широко распространен в северо-восточном и северном регионах Казахстана, второй вид – преимущественно в Южных регионах Казахстана [6, 7, 8].

В последние годы септориоз встречается постоянно, часто совместно с бурой ржавчиной. В наиболее влажные 2003, 2006, 2014 и 2016 гг. с прохладным летом происходило его эпифитотийное развитие, в 2005, 2007, 2008, 2009, 2011, 2013 и 2018 гг. – умеренное. Часто преобладает *Parastagonospora nodorum*, но в отдельные годы доминирует *Septoria tritici* [9, 10].

Для своевременного применения средств защиты растений от болезней и контроля зараженности зерна фитопатогенными грибами на разных стадиях его производства и переработки необходима их детекция и точная идентификация [11].

В настоящее время широко используются методы идентификации грибных патогенов по



морфологическим структурам и фитопатологическая экспертиза. Использование данных методик требует применения только чистой моноспоровой культуры и специальных стерильных сред в подходящих для роста грибов условиях. Длительность анализа и высокое сходство морфологических признаков у близкородственных видов создают определенные сложности при исследовании данными методами. Кроме того, необходимо отметить, что многие заболевания, особенно на ранней стадии, протекают бессимптомно, и их практически невозможно диагностировать с применением стандартных процедур. Поэтому создание чувствительных тест-систем для ранней диагностики фитопатогенов на основе современных методов является актуальной задачей.

В последние годы все большее применение в области лабораторной диагностики особо опасных патогенных грибов находят молекулярно-генетические методы, основанные на анализе генома микроорганизма [12]. Они превосходят традиционные методы по специфичности, чувствительности, скорости проведения анализа, производительности, и служат их существенным дополнением [13].

Целью данного исследования является разработка отечественной тест-системы для дифференциальной диагностики возбудителей септориоза методом дуплексной ПЦР.

### Материалы и методы исследования

В данной работе использованы чистые культуры грибов *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum*, полученные из листьев пшеницы с симптомами септориоза. Для получения обильного мицелия культуры грибов пересеивали на картофельно-декстрозный агар (PDA) и выращивали при 25 °С в течение 7 суток.

Перед выделением ДНК из грибов небольшое количество мицелия (приблизительно 25 мг) 7-дневных культур помещали в 1,5 мл пробирки с 50 мкл стерильной дистиллированной воды. Гомогенизировали мицелий в пробирке пестиком. Для выделения ДНК из мицелия использовали набор GeneJET Plant Genomic DNA Purification Mini Kit фирмы Thermo Scientific. ДНК выделяли согласно протоколу производителя. Концентрацию ДНК определяли с помощью спектрофотометра Nano Drop 2000 фирмы Thermo Scientific. Перед введением в реакционную смесь ДНК разбавляли до концентрации -10 нг/мкл.

Секвенирование фрагментов ДНК проводили методом Сэнгера с набором ABI PRISM BigDye Terminator v.3.1 («Applied Biosystems», США), согласно инструкции изготовителя с использованием 16-капиллярного генетического анализатора 3130XL Genetic Analyzer («Applied Biosystems», США). Сборку и анализ полученных в результате секвенирования последовательностей проводили с использованием программы Sequencher v. 5.4.1.

Нуклеотидные последовательности грибов *Parastagonospora nodorum* и *Zymoseptoria tritici*, опубликованные в GenBank, использованы при выравнивании и подборе специфических праймеров в программе CLC Genomics Workbench v.11.0.1 (QIAGEN).

Для получения рекомбинантного положительного контроля для тест-системы продукты амплификации чистых культур грибов *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum* клонировали в плазмиду pGEM-T с использованием набора Promega pGEM-T. Полученные лигазные смеси использовали для последующей химической трансформации компетентных клеток *Escherichia coli*. Отбор колоний, содержащих целевой фрагмент, проведен методом синей-белой селекции. Отобранные клоны перенесены в жидкую среду LB и инкубированы при 37 °С в течение 16 часов. Из полученных культур выделены плазмиды с применением метода щелочно-го лизиса.

Праймеры подбирали длиной 19-22 п.н. с температурой плавления 68-72 °С таким образом, чтобы фланкируемая ими нуклеотидная последовательность составляла 250-410 п.н. Видоспецифичность сконструированных праймеров предварительно проверяли с помощью программы BLAST, имеющейся на сайте National Center for Biotechnology Information (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

Сконструированные праймеры были синтезированы на автоматическом олигонуклеотидном синтезаторе DNA/RNA Synthesizer H-16 фирмы K&A Laborgeraete амидофосфитным методом.

Работы по оптимизации параметров ПЦР проводились с использованием градиентных амплификаторов SimpliAmp (Applied Biosystems), а также с помощью геледокументирующей системы Bio-Rad. В процессе оптимизации различных вариантов ПЦР подбирали температурный режим, число и продолжительность циклов амплификации, соотношение праймеров, концентрацию MgCl<sub>2</sub>, обеспечивающие макси-

мальную чувствительность и специфичность обнаружения ДНК грибов *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum*.

Электрофорез проводили при силе тока 400 мА в 2 % агарозном геле в буфере TAE (40 мМ трисгидроксиметиламинометан, 20 мМ ледяная уксусная кислота, 1 мМ ЭДТА) с добавлением SYBR Safe DNA gel stain. Для оценки молекулярного веса фрагментов использовали 1 kb ДНК-маркер фирмы Invitrogen. Результаты электрофореза визуализировали на трансиллюминаторе системы Bio-Rad.

### Результаты и обсуждение

Наиболее часто в качестве мишени для ПЦР используют мультикопийные гены – 18S рРНК, ITS регион или участок гена 28S рРНК [14]. В наших исследованиях по подбору специфических праймеров, мы остановились на внутренних транскрибированных спейсерах (ITS1-ITS2). Два ITS (ITS1 и ITS2) часто используют для дифференциации грибов на уровне родов и видов. Эти участки генома грибов окружают последовательность, кодирующую 5.8S рРНК, и расположены между генами, кодирующими 18S рРНК (малая субъединица – SSU) и 28S рРНК

(большая субъединица – LSU). Регион ITS очень стабилен, присутствует в нескольких повторностях и обычно консервативен внутри вида [15]. В настоящее время, если нуклеотидные последовательности данного участка отличаются менее чем на 3%, то они обычно считаются относящимися к одному виду [16].

Кроме того, выбор данной области был обусловлен тем, что ITS содержат уникальные последовательности, позволяющие подобрать специфичные пары праймеров для разных видов фитопатогенов. Наличие большого количества нуклеотидных последовательностей данного участка, опубликованных в GenBank (более 180 тысяч), также является положительным моментом.

В результате выравнивания последовательностей нуклеотидов в программе CLC Genomics Workbench v.11.0.1 определены наиболее консервативные участки генов ITS грибов *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum*. На основе данных участков сконструированы несколько пар праймеров, из которых отобраны наиболее эффективные. В таблице 1 приведены нуклеотидные последовательности праймеров для детекции грибов-патогенов *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum*.

Таблица 1 – Параметры праймеров

Патоген	Наименование праймера	Последовательность 5' – 3'	Tm (°C)	GC%	Размер продукта, п.о.
<i>Zymoseptoria tritici</i>	ZT272F	TCTCTGCGTCGGAGTTTACG	59,8	55	272
	ZT272R	CTCAGCCGGAGACTTTGAGG	60,1	55	
<i>Parastagonospora nodorum</i>	PN409F	TCCACCCTTGCTTTTGCGT	60,1	50	409
	PN409R	GCTTGTGGACGCAAGTGTTT	59,9	50	

Чистые культуры грибов получены из проб листьев пшеницы с симптомами септориоза, привезенных из Жамбылской и Акмолинской областей в 2018 году. Для получения обильного мицелия культуры грибов пересеивали на картофельно-декстрозный агар (PDA) и выращивали при 25 °С в течение 7 суток.

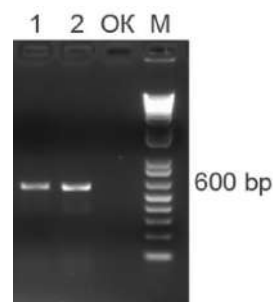
Для подтверждения чистоты используемых культур идентификацию (секвенирование) грибов проводили по методу Сенгера. При амплификации идентифицируемых образцов для секвенирования была использована уни-

версальная пара праймеров: ITS4 – TCCTC-CGCTTATTGATATGC и ITS5 – GGAAG-TAAAAGTCGTAACAAGG, которые часто применяют при определении грибов растений [15].

Результаты электрофоретического анализа продуктов амплификации представлены на рисунке 1.

В результате секвенирования и обработки в программе Sequencher v. 5.4.1 для двух культур грибов получены нуклеотидные последовательности, которые подтверждены на видовую при-

надлежность в программе BLAST (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Анализ показал 100% гомологичность исследуемых образцов с грибами *Zymoseptoria tritici* (1) и *Parastagonospora nodorum* (2), зарегистрированных в базе данных Genbank. В таблице 2 представлены нуклеотидные последовательности грибов, полученные при идентификации. Выявленные изоляты грибов в дальнейшем использовались на всех этапах оптимизации дуплексной ПЦР тест-системы. В качестве положительного контроля сконструированы плазмидные ДНК со вставками генов ITS грибов *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum*.



М – маркер молекулярного веса, 1 kb;  
OK – отрицательный контроль; 1, 2 – культуры грибов.

**Рисунок 1** – Электрофореграмма ампликонов, наработанные с праймерами ITS4 и ITS5

**Таблица 2** – Результаты идентификации ДНК грибов методом секвенирования

Наименование пробы	Последовательность фрагмента ITS гена	Идентичность
№1 из Жамбылской области	GAGGTCACCTGAGGTGTGATTTAACGGCCGTGAGGGCTCGTGAACCTCCGCGGC GAGACGTGATGCCACAACGCTGGGAGACGAGACCGCTCAGCCGGAGACTTTG AGGCGCGCGGGGAGTGATCCCCCGCGAAAAGACGCCAATACCCAGCGAGG CTGGAGTGGTGTAAATGACGCTCGAACGGGCATGCCCCCGGAATACCAGGGGG CGCAATGTGCGTTCAAAGATTTCGATGATTCACCTGAATTCGCAATTCACATTACT TATCGCATTTTCGCTGCGTTCTTCATCGATGCCAGAACCAAGAGATCCGTTGTTG AAAGTTTTGTTTCGATTTACTCGTAAACTCCGACGCGAGAGATGCAGTGTTTTTT GGTGGTCCCTCCGGGGCGCCCGGCAGGGTCCGCCCCGAAGCAACGGGATGTG TTCACAAAGGGTTGGAGGTCGGACCCGGAGGCCCTCGCTCGGTAATGATCCCT CCGAGGTTACCTACGGAGACCTTGTTA	100% <i>Zymoseptoria tritici</i>
№2 из Акмолинской области	GAGTCCAAACACTAGGGAGAGGACAAACACCCAACACCAAGCAGAGCTTGA GGGTACAAATGACGCTCGAACAGGCATGCCCATGGAATACCAAGGGGCGCAA TGTGCGTTCAAAGATTTCGATGATTCACCTGAATTCGCAATTCACACTACTTATCG CATTTTCGCTGCGTTCTTCATCGATGCCAGAACCAAGAGATCCGTTGTTGAAAGT TGTAATTATTAAGTTTTTCAGACGCTGATTGAAAATTAATAAGGTTATAAATTTG TCCAACCGGCAGGCAAGCCTGCCGAGGAAACGTGGGTACGCAAAAGACAAG GGTGGATAAAAGAGGCCAGCTGCTCATCAGCTTGCCTATACAGACTAACAGC CCSTTTACAGTAGTAACTACTGAGTGTAATGATCCTTCCGCAGGTTACCTA CGGAAACCTTG	100% <i>Parastagonospora nodorum</i>

Для выбора оптимальной программы амплификации ДНК протестированы несколько температур отжига: 52 °С, 55 °С, 57 °С, 60 °С, 63 °С. Параметрами, по которым оценивалась применимость использования температуры отжига, были отсутствие неспецифических и наличие чётких специфических полос на электрофореграмме. Реакционная смесь объемом 25 мкл включала компоненты следующего состава: смесь праймеров ZT272 и PN409 (0,4 мМ каждого праймера) – 1 мкл, смесь dNTP (10 мМ) – 0,5 мкл, 10X ПЦР-буфер (750 мМ Трис-НСl, рН 8,8, 200 мМ сульфат аммония, 0,1% Твин-20) – 2,5 мкл, MgCl<sub>2</sub> (25 мМ) – 2 мкл, вода очищенная – 17,7 мкл, Таq-полимераза – 0,3 мкл (5 ед./мкл), ДНК – 1 мкл. Ис-

следования показали, что для сконструированных праймеров оптимальной температурой отжига является 60°С. Также, проанализированы различные длительности времени температур элонгации и денатурации. В итоге оптимизирована программа температурного режима для дуплексной ПЦР, которая представлена в таблице 3.

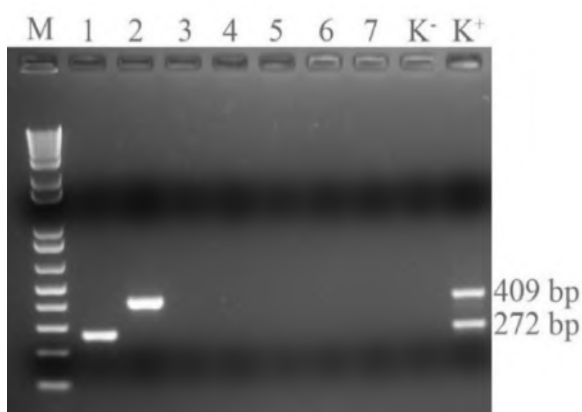
При определении специфичности разработанной дуплексной ПЦР тест-системы проведен опыт с использованием проб ДНК грибов рода *Zymoseptoria tritici*, *Pyrenophora tritici-repentis*, *Parastagonospora nodorum*, *Alternaria alternata*, *Fusarium*, *Ascomycota*, *Epicoccum*, которые были подтверждены на видовую принадлежность методом секвенирования. При постановке ПЦР в

качестве положительного контроля (K<sup>+</sup>) использована плазмидная ДНК со вставками гена ITS грибов *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum*, отрицательный контроль (K<sup>-</sup>) – деио-

низированная вода, M – маркер молекулярных масс (1 kb) фирмы «Invitrogen». Результаты ПЦР представлены в виде электрофореграммы на рисунке 2.

Таблица 3 – Программа амплификации

Шаг	Амплификаторы: “SimpliAmp thermal cycler”, “GeneAmp PCR System 9700” (или эквивалентные вышеперечисленным)		
	Температура	Время	Количество циклов
1	94 °С	2 мин	1
2	94 °С	20 сек	40
	60 °С	20 сек	
	72 °С	45 сек	
3	72 °С	5 мин	1
4	4 °С	Хранение	



1 – *Zymoseptoria tritici*, 2 – *Parastagonospora nodorum*, 3 – *Fusarium*, 4 – *Epicoccum*, 5 -*Ascomycota*, 6 – *Alternaria alternata*, 7 – *Pyrenophora tritici-repentis*.

Рисунок 2 – Результаты ПЦР-анализа ДНК грибов

Результаты дуплексной ПЦР показали, что разработанная тест-система работает специфично, и в соответствующих пробах нарабатывается ПЦР-продукт размером 272 п.о. с ДНК гриба *Zymoseptoria tritici*, и 409 п.о. с ДНК гриба *Parastagonospora nodorum*.

Для определения чувствительности тест-системы были приготовлены смеси 10-кратных разведений ДНК, исследуемых фитопатогенов, с концентрациями от 0,5 нанограмм до 5 фемтограмм в одной реакции. При постановке ПЦР были получены следующие результаты (см. рисунок 3).

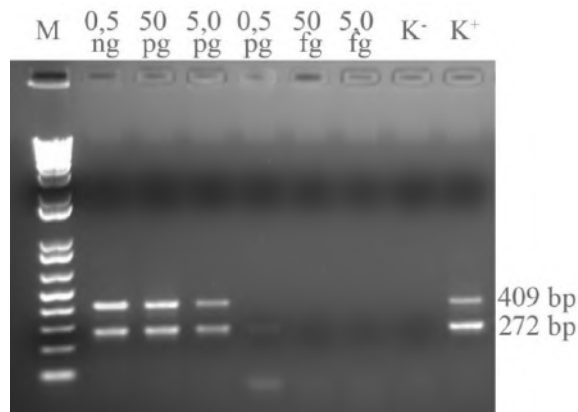


Рисунок 3 – Результаты анализа при проверке чувствительности дуплексной ПЦР тест-системы

Полученные данные показывают, что чувствительность разработанной дуплексной ПЦР тест-системы для дифференциальной диагностики септориоза одинакова для двух целевых фитопатогенов и находится в пределах 5 пкг ДНК в одной реакции, что составляет в среднем 100 копий молекул ДНК, выявляемых фитопатогенов.

Таким образом, с применением современных молекулярно-генетических методов, разработана дуплексная ПЦР тест-система, с помощью которой можно дифференциально диагностировать фитопатогены *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum*. Лабораторные испытания показали, что тест-система работает

специфично, и её чувствительность составляет 5 пкг ДНК в одной реакции. Этот показатель является относительно высоким и свидетельствует об эффективности разработанной дуплексной ПЦР тест-системы.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Осуществлен анализ нуклеотидных последовательностей, представленных в генетической базе данных Genbank, и подобраны перспективные видоспецифичные пары праймеров, обеспечивающие дуплексную детекцию целевых патогенов методом ПЦР;

2. Оптимизирован компонентный состав реакционной смеси и температурный режим для корректной постановки ПЦР;

3. Для положительного контроля ПЦР анализа сконструированы плазмидные ДНК со вставками генов ITS грибов *Zymoseptoria tritici* и *Parastagonospora nodorum*;

4. В результате экспериментальных исследований разработанная дуплексная ПЦР тест-система для диагностики септориоза проверена по параметрам специфичности и чувствительности с применением ДНК грибов *Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum*, *Pyrenophora tritici-repentis*, *Alternaria alternata*, *Alternaria infectoria*, *Fusarium*, *Ascomycota*, *Epicoccum*.

5. Определена аналитическая чувствительность ПЦР тест-системы, которая составила 5 пикограмм ДНК в одной реакции.

Работа выполнена на базе РГП Научно-исследовательского института проблем биологической безопасности КН МОН РК в рамках программы целевого финансирования на 2018-2020 гг. на тему «Разработка инновационных систем для повышения устойчивости сортов пшеницы к особо опасным болезням в Республике Казахстан» (ИРН: BR06249329).

#### Литература

- 1 Бейшова И.С., Чужебаева Г.Д., Ковальчук А.М., Ульянов В.А., Поддудинская Т.В. Диагностика грибов-патогенов зерновых культур методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в режиме реального времени. – Костанай: Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова, 2017.
- 2 Назарова Л.Н., Корнева Л.Г., Жохова Т. П. и др. Эпидемиологическая ситуация по септориозу на пшенице в 2001-2009 годах // Защита и карантин растений. – 2010. – № 10. – С. 18–20.
- 3 Eyal Z. The Septoria tritici and Stagonospora nodorum blotch diseases of wheat // European Journal of Plant Pathology. – 1999. – Т. 105. – № 7. – Р. 629–641.
- 4 Санин С.С., Назарова Л.Н., Стрижекозин Ю.А. и др. Фитосанитарная обстановка на посевах пшеницы в Российской Федерации (1991-2008 гг.). Аналитический обзор // Защита и карантин растений. – 2010. – № 2. – С. 70–87.
- 5 Cooke B.M., Jones D.G. Epidemiology of Septoria tritici and S. nodorum. The reaction of spring and winter wheat varieties to infection by Septoria tritici and Septoria nodorum // Trans. Br. Mycol. Soc. – 1971. – №56. P. 121-125.
- 6 Гулятьева Е.И., Ишкова Т.И., Левитин М.М. Фитосанитарный мониторинг болезней зерновых культур в северо-западных областях Российской Федерации // Фитосанитарное оздоровление экосистем. – СПб., 2005. – С. 25-28.
- 7 Судникова В.П., Плахотник В.В., Артемьева С.В. Распространение видов возбудителей септориоза на зерновых культурах в ЦЧЗ. // Фитосанитарное оздоровление экосистемам. – СПб., 2005. – С. 107-109.
- 8 Рсалиев А.С., Амирханова Н.Т. Морфолого-культуральные особенности изолятов возбудителей septoria nodorum и septoria tritici в Казахстане // Вестник КазНУ. Серия биологическая. – 2014. – №2 (61). – С. 82-88.
- 9 Койшыбаев М. Динамика развития видов ржавчины и септориоза и защита пшеницы от них // Защита и карантин растений. – 2015. – №9. – С. 21 – 25.
- 10 Койшыбаев М., Канафин Б.К., Федоренко Е.Н., Гоц А.Ю., Литовченко Ж.И. Источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к видам ржавчины и септориоза в северном Казахстане // Сельскохозяйственные науки. – 2017. № 12(66). – С.117-122.
- 11 Lievens B., Grauwet T., Bruno P.A. Cammue and Bart P.H.J. Thomma. Recent developments in diagnostics of plant pathogens: A review Recent Res // Devel. Microbiology. – 2005. №9. – ISBN: 81-7736-243-7. – P. 57 – 79.
- 12 Springer J., Einsele H., Loeffler J. Molecular techniques in the diagnosis of deep and systemic mycosis // Clinics in Dermatology. – 2012. – Vol. 30. – Issue 6. – P. 651-656.
- 13 McCartney H.A., Foster S., Fraaije B., Ward E. Molecular diagnostics for fungal plant pathogens // PubMed. – DOI: 10.1002/ps.575.
- 14 Khot P.D., Ko D.L., Fredricks D.N. Sequencing and Analysis of Fungal rRNA Operons for Development of Broad-Range Fungal PCR Assays // Applied Environmental microbiology. – 2009. – Vol. 75. – P. 1559–1565.
- 15 White T.J., Bruns T., Lee S. Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics; in Innis MA, Gelfand DH, Sninsky JJ, White TJ (eds): PCR Protocols: a Guide to Methods and Applications // Academic Press Inc, New York. – 1990. – P. 315–322.
- 16 Hughes K.W., Petersen R.H., Lickey E.B. Using heterozygosity to estimate a percentage DNA sequence similarity for environmental species' delimitation across basidiomycete fungi. // New Phytol. – 2009. – Vol. 182. – P. 795–798.

### References

- 1 Beyshova I.S., Chuzhebaeva G.D., Kovalchuk A.M., Ulyanov V.A., Poddudinskaya T.V. Diagnostika gribov-patogenov zernovykh kultur metodom polimeraznoy tsepnoy reaktsii (ptsr) v rezhime realnogo vremeni. Kostanay: Kostanayskiy gosudarstvennyy universitet im. A. Baytursynova, 2017.
- 2 Cooke B.M., Jones D.G. "Epidemiology of *Septoria tritici* and *S. nodorum*. The reaction of spring and winter wheat varieties to infection by *Septoria tritici* and *Septoria nodorum*." *Trans. Br. Mycol. Soc.* no 56. (1971): 121-125.
- 3 Eyal Z. "The *Septoria tritici* and *Stagonospora nodorum* blotch diseases of wheat." *European Journal of Plant Pathology* Volume 105, no 7. (1999): 629-641.
- 4 Gul'tyayeva Ye.I., Ishkova T.I., Levitin M.M. "Fitosanitarnyy monitoring bolezney zernovykh kul'tur v severo-zapadnykh oblastiakh Rossiyskoy Federatsii" *Fitosanitarnoye ozdorovleniye ekosistem*, SPb. (2005): 25-28.
- 5 Hughes K.W., Petersen R.H., Lickey E.B. "Using heterozygosity to estimate a percentage DNA sequence similarity for environmental species' delimitation across basidiomycete fungi." *New Phytol.* Volume 182, (2009): 795-798.
- 6 Koyshybayev M. "Dinamika razvitiya vidov rzhavchiny i septorioza i zashchita pshenitsy ot nikh." *Zashchita i karantin rasteniy*, no 9 (2015): 21-25.
- 7 Koyshybayev M., Kanafin B.K., Fedorenko Ye.N., Gots A.Yu., Litovchenko Zh.I. "Istochniki ustoychivosti yarovoy myagkoy pshenitsy k vidam rzhavchiny i septorioza v severnom Kazakhstane." *Sel'skokhozyaystvennyye nauki*, no 12(66) (2017): 117-122.
- 8 Khot P.D., Ko D.L., Fredricks D.N. "Sequencing and Analysis of Fungal rRNA Operons for Development of Broad-Range Fungal PCR Assays." *Applied and Environmental Microbiology* Volume 75, (2009): 1559-1565.
- 9 Rsaliyev A.S., Amirkhanova N.T. "Morfologo-kul'tural'nyye osobennosti izolyatov возбуdiviteley septoria nodorum i septoria tritici v Kazakhstane." *Vestnik KazNU. Seriya biologicheskaya*, no2 (61) (2014): 82-88.
- 10 Nazarova L.N., Korneva L.G., Zhokhova T. P. "Epidemiologicheskaya situatsiya po septoriozu na pshenitse v 2001-2009 godakh." *Zashchita i karantin rasteniy*, no 10 (2010): 18-20.
- 11 Lievens B., Grauwet T., Bruno P.A. Cammue and Bart P.H.J. Thomma. "Recent developments in diagnostics of plant pathogens: A review Recent Res." *Devel. Microbiology*, no 9 (2005): 57-79.
- 12 McCartney H.A., Foster S., Fraaije B., Ward E. "Molecular diagnostics for fungal plant pathogens." *PubMed*. <https://doi.org/10.1002/ps.575>. (accessed January 07, 2003).
- 13 Sanin S.S., Nazarova L.N., Strizhekozina YU.A. "Fitosanitarnaya obstanovka na posevakh pshenitsy v Rossiyskoy Federatsii (1991-2008 gg.). Analiticheskiy obzor" *Zashchita i karantin rasteniy*, no 2 (2010): 70-87.
- 14 Sudnikova V.P., Plakhotnik V.V., Artem'yeva S.V. "Rasprostraneniye vidov возбуdiviteley septorioza na zernovykh kul'turakh v TSCHZ." *Fitosanitarnoye ozdorovleniye ekosistemam*, SPb, (2005): 107-109.
- 15 Springer J., Einsele H., Loeffler J. "Molecular techniques in the diagnosis of deep and systemic mycosis." *Clinics in Dermatology* Volume 30, Issue no 6 (2012): 651-656.
- 16 White T.J., Bruns T., Lee S. Taylor J. "Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics; in Innis MA, Gelfand DH, Sninsky JJ, White TJ (eds): *PCR Protocols: a Guide to Methods and Applications*." Academic Press Inc, New York. (1990): 315-322.






3-бөлім  
**БИОЛОГИЯЛЫҚ  
АЛУАНТҮРЛІКТІ САҚТАУДЫҢ  
ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ**

---

Section 3  
**ACTUAL PROBLEMS  
OF BIODIVERSITY CONSERVATION**

---

Раздел 3  
**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
СОХРАНЕНИЯ  
БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ**

Х. Балоуч , М.О. Бауенова , А.К. Садвакасова\* ,  
Ф.К. Сарсекеева , Д.К. Кирбаева , К. Болатхан ,  
Ж.О. Мустапаева 

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
Казахстан, г. Алматы, \*e-mail: asem182010@gmail.com

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ АЛЬГОФЛОРЫ ОЗЕР АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Изучено видовое разнообразие альгофлоры пяти озер, расположенных на территории Алматинской области с разным типом ландшафтов. Объектами исследования были озера Балхаш, Алаколь, Кольсай, Иссык и Большое Алматинское озеро. В двух озерах (Иссык и Большое Алматинское озеро) фитопланктон был исследован впервые. Целью исследования было изучение биоразнообразия альгофлоры в озерах, подверженных различной степени антропогенного воздействия в процессе рекреационного использования. Данные водные объекты имеют огромное хозяйственное значение в жизнедеятельности населения области, поэтому биологическая оценка воды именно этих озер представляется наиболее актуальной. Анализ флористического состава альгофлоры озер выявил высокое видовое разнообразие микроводорослей во всех исследованных объектах. Наибольшим количественным и качественным разнообразием в озерах представлены диатомовые и зеленые водоросли. Проведенная оценка экологического состояния воды с использованием индикаторных микроводорослей выявила, что озеро Балхаш является сравнительно грязным из всех исследованных озер. Большое Алматинское озеро – высокогорный водоем, расположенный в заповедной зоне Заилийского Алатау, по сапробности определено как самое чистое. Научная значимость проведенных исследований заключается в изучении видового разнообразия микроводорослей и цианобактерий данных объектов. Практическая значимость исследований заключается в том, что полученные результаты могут быть полезны при прогнозировании экологического состояния и разработке необходимых рекомендаций по сохранению и функционированию объектов окружающей среды. По результатам работ по выделению чистых культур из проб, отобранных из озер Алматинской области, получено 5 альгологически чистых культур микроводорослей: *Nephrochlamys* sp., *Ankistrodesmus falcatus*, *Monoraphidium griffithii*, *Parachlorella* sp. и *Monoraphidium* sp..

**Ключевые слова:** биоиндикация, альгофлора, озеро, Алматинская область, микроводоросли, сапробность, альгологически чистые культуры.

H. Balouch, M.O. Bauyenuova, A.K. Sadvakasova\*,  
F.K. Sarsekeeva, D.K. Kirbaeva, K. Bolatkhan, Zh.O. Mustapaeva  
Al-Farabi Kazakh national university, Kazakhstan, Almaty,  
\*e-mail: asem182010@gmail.com

### Comparative characteristics of species diversity of the algal flora of lakes in the Almaty region

The species diversity of the algoflora of five lakes, with different types of landscapes, located in the territory of the Almaty region was studied. The study covered five freshwater bodies including: Balkhash, Alakol, Kolsay, Issyk and Big Almaty lake. Phytoplankton was studied for the first time in two lakes (Issyk and Big Almaty lake). The aim was to study the biodiversity of algoflora in lakes that are subject to various degrees of anthropogenic impact during recreational use. These water bodies are of great economic importance for the region, so the biological assessment of the water of these lakes is the most relevant. Analysis of the floral composition of the algoflora of lakes revealed a high species diversity of microalgae in all the studied objects. The highest quantitative and qualitative diversity in the lakes is represented by diatoms and green algae. The assessment of the ecological state of the water using microalgae as an indicator revealed that lake Balkhash is relatively dirty of all the studied lakes. Big Almaty lake,



a high-altitude reservoir located in the reserve zone of the Trans-ili Alatau, was identified as the cleanest by saprobity. The scientific significance is to study the species diversity of microalgae and cyanobacteria of these objects. The practical significance is that the results obtained are necessary for forecasting and making recommendations for the conservation and normal functioning of natural complexes. Based on the results of the work of allocating pure cultures from samples taken from the lakes of the Almaty region received 5 algal pure cultures: *Nephrochlamys* sp., *Ankistrodesmus falcatus*, *Monoraphidium griffithii*, *Parachlorella* sp. и *Monoraphidium* sp.

**Key words:** bioindication, algal flora, lakes Almaty region, microalgae, saprobity, algal pure cultures.

Х. Балоуч, М.О. Бауенова, А.К. Садвакасова\*,  
Ф.К. Сарсекеева, Д.К. Кирбаева, К. Болатхан, Ж.О. Мустапаева  
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,  
\*e-mail: asem182010@gmail.com

### Алматы облысы көлдері альгофлорасының түрлік алуантүрлілігіне салыстырмалы сипаттама

Алматы облысы территориясында орналасқан, әр түрлі типті ландшафтысымен ерекшеленетін бес көлдің альгофлорасының түрлік алуантүрлілігі зерттелінді. Зерттеу объектілері ретінде келесі көлдер алынды: Балқаш, Алакөл, Көлсай, Есік және Үлкен Алматы көлі. Екі көлдің (Есік және Үлкен Алматы көлдері) фитопланктоны алғаш рет зерттелінді. Жұмыстың мақсаты, рекреационды пайдалану үрдісінен туындаған әр түрлі дәрежедегі антропогендік ластануға ұшыраған көлдер альгофлорасының биоалуантүрлілігін зерттеу болды. Осы су объектілері облыс халқының тіршілігінде үлкен шаруашылық маңызға ие, сондықтан осы көлдердің суын биологиялық бағалау аса өзекті болып табылады. Көлдердің альгофлорасының флористикалық құрамын талдау барлық зерттелген объектілердегі микробалдырлардың жоғары алуантүрлілігін анықтады. Көлдердегі ең көп сандық және сапалық әртүрлілікті диатомды және жасыл балдырлар көрсетті. Индикаторлық микробалдырларды пайдалана отырып, судың экологиялық жай-күйіне жүргізілген бағалау, Балқаш көлінің барлық зерттелген көлдердің ішінде салыстырмалы лас екені анықтады. Іле Алатау қорығының территориясында орналасқан биік таулы су айдыны Үлкен Алматы көлі, сапробтылығы бойынша ең таза көл ретінде анықталды. Жүргізілген зерттеудің ғылыми маңыздылығы аталмыш объектінің микробалдырлары және цианобактерияларының түрлік алуантүрлілігін зерттеумен сипатталады. Зерттеудің практикалық маңыздылығы, алынған нәтижелер табиғи кешендерді сақтаудың және қызметінің қалыптылығы бойынша болжауға және ұсыныстар құрастыру үшін қажеттілігімен сипатталады. Таза дақылдарды бөліп алу жұмыс нәтижелері бойынша Алматы облысы көлдерінен мынадай альгологиялық таза дақылдар бөлініп алынды: *Nephrochlamys* sp., *Ankistrodesmus falcatus*, *Monoraphidium griffithii*, *Parachlorella* sp. и *Monoraphidium* sp.

**Түйін сөздер:** биоиндикация, альгофлора, көл, Алматы облысы, микробалдырлар, сапробтылық, альгологиялық таза дақылдар.

## Введение

Микроводоросли играют большую роль в жизни водоемов. Они относятся к числу наиболее существенных компонентов водных экосистем и играют важную роль в оценке экологического состояния как природных, так и искусственных водоемов. Таксономическое разнообразие альгофлоры, ее участие в трофических цепях, способность микроводорослей к обогащению водной среды кислородом и продуцированию биологически активных веществ определяют их огромную роль в функционировании водных экосистем [1]. Изучение видового состава водорослей в пресноводных водоемах района необходимо для проведения оценки биоразнообразия с целью мониторинга состояния объектов, находящихся

под угрозой либо уже подверженных антропогенному прессу. Это в свою очередь важно при прогнозировании и выработке комплекса мероприятий, направленных на сохранение природных объектов [2-4]. Особенно это важно для рекреационных водоемов, так как отмечается увеличение темпов урбанизации прибрежных территорий озер, которое способствует увеличению объемов поступающих в водную среду биогенных элементов.

Поскольку водоросли как первичные продуценты органического вещества являются одной из основных наиболее массовых групп водных объектов, они вступают в контакт с загрязнениями первыми, что и определяет их возможности быть хорошими биоиндикаторами состояния воды в различного типа водоемах [1, 5]. Изучение биоразнообразия микроводорослей

водных экосистем позволяет оценить уровень загрязненности каждого водоема теми или иными органическими веществами с достаточно высокой степенью достоверности. Так, изменении экологического состояния водоемов от сильно загрязненного до умеренно-загрязненного будет сопровождаться численными сдвигами видов микроводорослей, т.е. бурное развитие тех или иных видов водорослей, в большой степени, будет зависеть от изменяющихся условий окружающей среды [5]. Следовательно, при биоиндикации экологического состояния водоемов, оценке эффективности функционирования имеющихся очистных сооружений, при расчете индекса сапробности воды большое значение имеет оценка видового разнообразия альгофлоры водоемов.

Озера Алматинской области в альгологическом отношении изучены еще недостаточно хорошо. На равнинной территории Алматинской

области расположено 14 озер, большинство которых объединяются в системы по рекам. При этом на небольшой территории в условиях единой гидрографической системы располагаются и пресные, и сильно минерализованные водные источники, все это создает различные предпосылки для устойчивого формирования и функционирования первого звена в трофической цепи – микроводорослей. В связи с этим целью нашей исследовательской работы явилось изучение и сравнительная характеристика видового разнообразия альгофлоры озер Алматинской области и проведение биоиндикации этих объектов на основе сапробных видов микроводорослей.

### Материалы и методы исследования

Объекты исследования – озера Алматинской области: Балхаш, Алаколь, Кольсай, Иссык, Большое Алматинское озеро (БАО) (Рисунок 1).

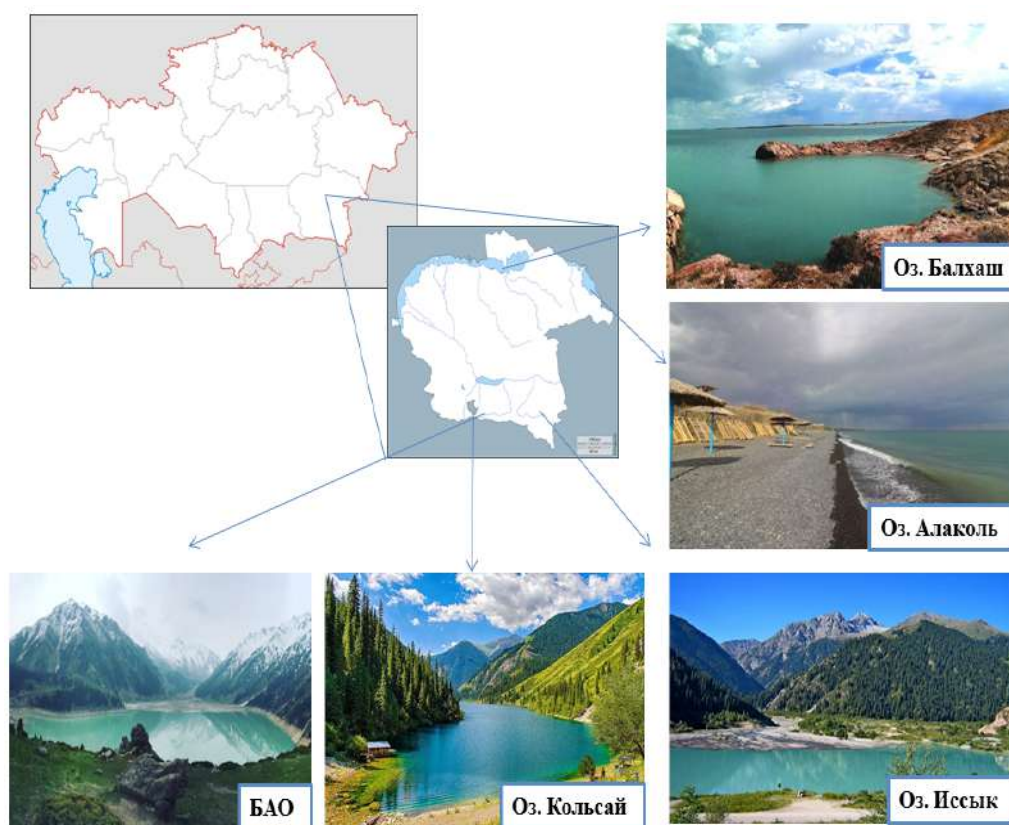


Рисунок 1 – Карта-схема районов исследования

Сбор альгологических проб, изучение таксонов из озера Балхаш осуществляли в районе бухты Бертыс, из озера Алаколь были выбраны точки в районе 2 сел Акши и Коктума, из озера

Кольсай выбраны 3 высокогорных Кольсайских озера, располагающихся в ущелье Кольсай: нижнее Кольсайское озеро, среднее (второе) Кольсайское озеро (Мынжылгы) и первое

Кольсайское озеро. Из озера Иссык и БАО были выбраны несколько точек для сбора альгологических проб (4, 6 на расстоянии 300-400 м). Альгологические образцы были

собраны летом 2018-2019 гг. Все исследованные озера Алматинской области различались по температуре, площади, глубине, прозрачности рН на момент отбора проб воды (Таблица 1).

**Таблица 1** – Основные физические параметры воды озёр Алматинской области на момент отбора проб

Озеро	Температура	Прозрачность	рН
озеро Балхаш	18-20 °С	0,5-1 м	8-8,5
озеро Иссык	17-19 °С	1-1,5 м	6-6,7
озеро Алаколь	18-20 °С	0,5-1 м	7-7,5
озеро Кольсай	15-18 °С	1-1,5 м	7
Большое Алматинское озеро	8-10 °С	2-2,5 м	5,8-6

В процессе исследования проводили полевые сборы и лабораторные анализы, используя методы, общепринятые в альгологической практике. Всего собрано 180 альгологических проб, в том числе образцов планктона, бентоса, перифитона. Количественные пробы отбирали с использованием рамки ( $S = 0.01 \text{ м}^2$ ). Обрастания соскабливали с субстрата с помощью щетки, фиксировали раствором Люголя в модификации Г.В. Кузьмина [6]. Водоросли изучали с помощью световых микроскопов «*Premere*» и «*Micros Austria*» с увеличением от 40 до 100 раз. С каждого образца воды было просмотрено около 30-40 полей зрения не менее чем на 5 препаратах. Полученные результаты были выражены в количестве клеток на 1 мл воды. Число микроводорослей оценивали по шкале частот при перерасчете на 100 полей зрения [7]. При этом частоту встречаемости видов индикаторов рассчитывали по общеизвестной девятибалльной шкале частот [8]. Определение видов микроводорослей проводили в нативном и фиксированном состоянии клеток. При этом в качестве фиксатора были использованы растворы формальдегида и иода. При отборе образцов воды были зафиксированы некоторые физико-химические показатели воды, такие как рН, температура и прозрачность воды. Виды микроводорослей определяли с использованием определителей [9-13]. Индекс сапробности воды определяли по общепринятой методике [14]. Индикаторная значимость отдельных видов *водорослей* оценивалась по спискам сапробных организмов [15]. Получение накопительной культуры микроводорослей проводилось по традиционной методике. Для выделения альгологически чистой культуры из накопительных культур использовали

обычные микробиологические методы [16]. Микроводоросли выращивали в колбах объемом 500 мл в стерильных условиях. Использовали минеральные среды 04, Громова, Тамия, Заррука.

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследование видового разнообразия живых организмов водных экосистем в настоящее время является одной из главных задач современной экологии. В связи с этим возникает острая необходимость изучения биоразнообразия флоры и фауны водоемов, включая и фототрофные микроорганизмы. Кроме этого, многие виды фототрофных микроорганизмов обладают высокой чувствительностью к различным видам антропогенного воздействия и в силу этого относятся к индикаторам экологического состояния объектов окружающей среды представляя большой интерес как диагностические показатели состояния воды. Нами для изучения видового разнообразия альгофлоры и проведения оценки экологического состояния были выбраны наиболее известные озера Алматинской области, отличающиеся различной степенью влияния на них антропогенного воздействия.

Озеро Балхаш представляет интерес как бессточное полупресноводное озеро, и является вторым по величине непересыхающим солёным озером нашей республики. В списке крупнейших озёр мира занимает 14 место. Уникальность этого озера заключается в том, что оно совмещает две части воды с различными химическими характеристиками. Так западная ее часть представлена практически пресной водой, в то время как восточная ее часть — солоноватая. Это самое крупное озеро, полностью расположенное на территории нашей республики с длиной около

614 км, и площадью всей акватории – 16,5 тыс. км<sup>2</sup> [17-18]. Необходимо отметить, что несмотря на большие запасы свежей воды впадающих в это озеро рек, а также на водоохранные мероприятия, все же в настоящее время все еще актуальна проблема борьбы данного озера с загрязнением. Вода в озере Балхаш загрязнена тяжелыми металлами, нефтепродуктами, фенолами и т.д. Нами изучалось видовое разнообразие микроводорослей в западной части озера в районе бухты Бертыс, которая считается одной из наиболее загрязненных точек озера. Несмотря на тот факт, что сбросы сточных вод металлургических производств давно уже приостановлены, все же развитие близлежащих предприятий металлургической промышленности и теплоэнергетики сказываются на техногенном загрязнении как воздушного так и водного пространства близлежащих районов.

В составе альгофлоры планктона озера Балхаш обнаружено 92 таксона микроводорослей, представленных различными разновидностями и

формами, относящимися к 4 отделам, 9 классам, 9 порядкам, 17 семействам и 32 родам. Основная масса определенных в данном озере микроводорослей представлена зелеными водорослями, их доля в общем числе видов составляет 35%. Затем по численности преобладали диатомовые виды, число которых составило 29%. Цианобактерии по численности находятся на третьем месте и составляют 27%, и около 9% из определенных видов микроводорослей составили эвгленовые водоросли. Наиболее часто встречаемые виды: *Ankistrodesmus minutissimus* Korsch, *Chlorella vulgaris* var *vulgaris* Beijerinck, *Coelastrum microporum* Naegeli, *Merismopedia minima*, *Gomphosphaeria lacustris*, *Phormidium foveolarum* (Mont) Gom (Рисунок 2). Исследование соотношения среди определенных видов сапробных видов водорослей показало, что 50% микроводорослей являются показателями сапробности воды. Полученные данные позволяют отнести озеро Балхаш к «загрязненному» по  $\alpha$ -мезосапробному типу. Сапробный индекс колеблется в пределах от 3,51 до 2,5.

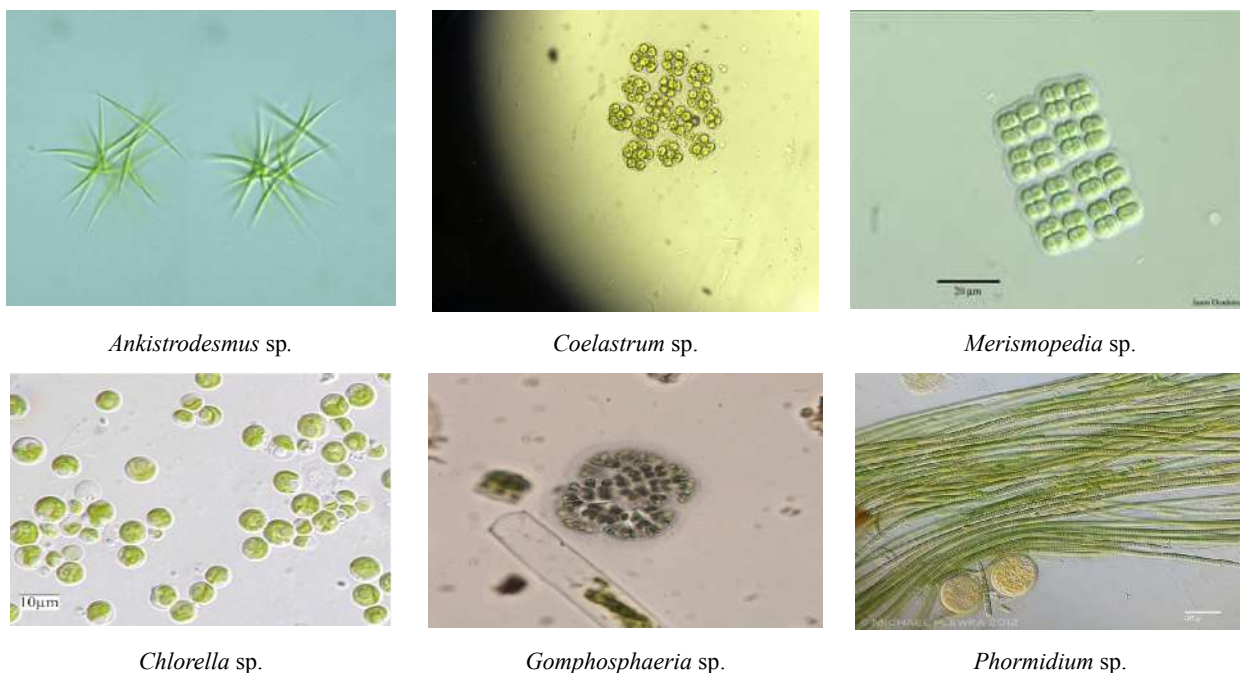


Рисунок 2 – Микрофотографии часто встречаемых микроводорослей в озере Балхаш (при увел. x100)

Вторым исследованным объектом было озеро Алаколь. Это соленое бессточное озеро, расположенное на высоте 347 м над уровнем моря в Балхашско-Алакольской низменности. Озеро Алаколь и мелкие озера, располага-

ющиеся рядом, такие как Сасыкколь, Уялы и другие, образуют Алакольскую озерную систему. Вдоль побережья озера расположено много мысов, заливов и бухт. Общая площадь водной поверхности озера Алаколь составляет

2652 км<sup>2</sup>. Озеро солёное, минерализация воды колеблется в пределах от 1,2 до 11,6 г/кг [19-21]. Территориальные рекреационные системы, расположенные на берегу озера вблизи сел Акши, Коктума, Кабанбай, Коктал, в процессе рекреационного использования подвергаются наибольшему антропогенному воздействию, поэтому биологическая оценка воды озера именно в этих районах представляется наиболее актуальной. Проводя сравнительный анализ видового состава альгофлоры исследованных озер, удалось выявить небольшие отличия в нем. Так, наиболее значительным разнообразием видов и разновидностей микроводорослей отличалось озеро Алаколь. Количество определенных таксонов водорослей в данном озере выше, чем во всех исследуемых озерах. В озере Алаколь так же, как и в озере Балхаш, основную биомассу составили микроводоросли отдела *Chlorophyta* (39,32 %). В озере Алаколь всего обнаружено 89 видов водорослей, относящихся к основным пяти отделам (*Bacillariophyta* – 24, *Cyanoprocarvota* – 22, *Chlorophyta* – 35, *Euglenophyta* – 7, *Cryptophyta* – 1), из 12 классов, 36 семейств и 55 родов. Евгленовые и криптофитовые водоросли встречались реже, что показывает их низкую приспособленность к условиям минерализации. Только представители трех отделов *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, и *Cyanoprocarvota* были выявлены во всех образцах, это связано с высокой экологической валентностью видов, которая и предопределяет их способность к выживанию соленых условиях среды.

Биоиндикация качества воды по Пантле-Букку установила β-мезосапробный тип воды в обследованных районах озера Алаколь, что позволило отнести их к разряду слабо загрязненных. Рассчитанные индексы сапробности находились в пределах значений 1,5–2,5. Как и предполагалось, выявленное некоторое повышение сапробности в озере, связано с тем, что данные районы подвергаются наибольшему антропогенному воздействию в процессе рекреационного использования.

Кольсайские озёра – это система из трех высокогорных озер в северном Тянь-Шане, в ущелье Кольсай. Альгофлора Кольсайских озер в настоящее время практически не изучена. Между тем, предполагается возрастание антропогенной нагрузки на озеро в связи с тем, что в последние годы этот район становится популярным для туризма и кемпингового отдыха [22-24]. Альгофлора оз. Кольсай несколько беднее по

количественному составу, чем альгофлора оз. Балхаш и Алаколь. В составе альгофлоры озера Кольсай обнаружено 42 вида, относящихся к 4 отделам: *Bacillariophyta* – 21 видов, *Cyanophyta* – 7, *Chlorophyta* – 11, *Dinophyta* – 3 (Таблица 2). Наиболее многочисленными и разнообразными в видовом отношении отмечены диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*), отдел представлен 14 родами и 7 семействами. Общее снижение числа видов привело к уменьшению видового разнообразия в целом. Наибольшее видовое разнообразие отмечено у родов диатомовых *Cymbella*, *Cyclotella* и *Gomphonema*. Зеленые водоросли (*Chlorophyta*) в озере Кольсай по численности занимают второе место, определено 11 видов. Часто встречались виды из порядка *Desmidiiales*, *Chlorococcales*. При этом наибольшее количество видов включали роды *Cosmarium*, *Scenedesmus*, *Closterium Staurastrum*, *Pediastrum*. Особенно много их на берегу озера, где, как известно, вода значительно теплее, и отмечается наличие водных растений. Разнообразные эпифитные виды микроводорослей были обнаружены на поверхности нитчатых водорослей *Spirogira* и *Ulotrix*. Динофитовые встречались единично и представлены всего 3 видами. В результате анализа индикаторно-сапробных видов микроводорослей озера Кольсай нами выявлено наличие 20 видов и разновидностей индикаторных видов, из них олиго-ксеносапробов (х-о) – 8, олигосапробов (о) – 6, ксеносапробов (х) – 4, мезосапробов (м) – 2. Оценка состояния воды озера по индикаторным видам фитопланктона показала ее принадлежность к категории олигосапробной. Сапробный индекс по методу Пантле и Букка равен 1,5.

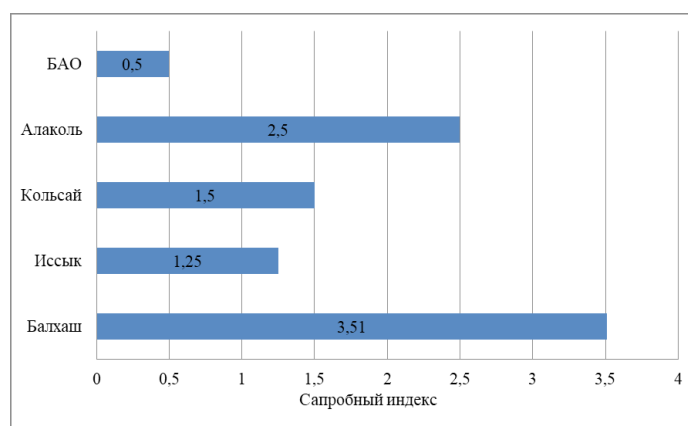
Следующим исследованным нами озером было озеро Иссык в Иссыкском ущелье в Заилийском Алатау, которое находится в 40 км восточнее от Алматы, в Енбекшиказахском районе Алматинской области. Согласно данным геологов, озеро образовалось около 8-10 тысяч лет назад на месте большого горного обвала, в результате которого образовалась естественная плотина высотой 300 метров [25]. При проведении альгологических исследований в озере Иссык обнаружено 34 вида водорослей из 6 отделов и 29 родов (табл. 2). Наибольшим количеством видов представлен отдел *Bacillariophyta* – 17, это 50 % от общего видового состава. Представители *Cyanoprocarvota* включали 9 видов, отдел *Chlorophyta* представлен 5 видами. Евгленовые и желтозеленые водо-

росли представлены 3 видами. Таким образом, основу видового разнообразия водорослей озера Иссык составляют диатомовые, сине-зеленые и зеленые водоросли, которые составляют 91% от общего видового состава. Диатомовые водоросли объединены 14 родами в 7 семейств, из них 3 семейства и 5 родов составляют основную часть семейственного и родового спектров. Цианопрокариоты представлены 9 видами, 7 родами, 6 семействами, занимают второе положение по величине биоразнообразия и представляют 26.5% от общего числа видов. Наименьшее видовое разнообразие отмечено для зеленых водорослей – 5 видов отнесены к 3 родам и 2 семействам. Также в альгофлоре о. Иссык наблюдается незначительное видовое разнообразие желтозеленых водорослей – 1 вид, золотистых и красных водорослей тоже по 1 виду. Необходимо отметить, что данные виды

микроводорослей не встречались в остальных исследованных водных объектах. По отношению к сапробности водной толщи анализ состава индикаторно-сапробных водорослей показал наибольшее количество ксеносапробионтов, наименее – меньшим разнообразием представлены мезосапробы, и достаточно шире представлены виды промежуточного уровня загрязнения, занимающие промежуточное положение между ксеносапробной и олигосапробной зонами. Оценка состояния воды озера Иссык по индикаторным видам фитопланктона показала ее принадлежность к категории олигосапробной. Наибольшее число выявленных индикаторов относится к диатомовым водорослям (44% от общего числа индикаторов) и в целом соответствует значимости этих отделов в структуре фитопланктона озера. Сапробный индекс воды озера Иссык по методу Пантле и Букка равен 1,25 (Рисунок 3).

**Таблица 2** – Систематический состав альгофлоры озер Алматинской области

Видовой состав	Балхаш	Иссык	Алаколь	Кольсай	БАО
	Число видов				
<i>Bacillariophyta</i>	27	17	24	21	8
<i>Cyanophyta</i>	25	-	-	7	3
<i>Цианопрокариоты</i>	-	9	22	-	-
<i>Chlorophyta</i>	32	5	35	11	7
<i>Euglenophyta</i>	8	-	7	-	1
<i>Cryptophyta</i>	-	1	1	-	4
<i>Chrysophyta</i>					2
<i>Dinophyta</i>	-	-	-	3	1
<i>Xantophyta</i>	-	1	-	-	-
<i>Rhodophyta</i>	-	1	-	-	-
<b>Всего</b>	<b>92</b>	<b>34</b>	<b>89</b>	<b>42</b>	<b>26</b>



**Рисунок 3** – Показатели индекса сапробности исследованных озер



Наиболее малочисленное видовое разнообразие микроводорослей было зарегистрировано в Большом Алматинском озере. Этот высокогорный водоём, располагается в Заилийском Алатау, на расстоянии 15 км южнее города Алматы, на высоте 2510 м над уровнем моря. Длина котловины озера, имеющего тектоническое происхождение, составляет 1,6 км, ширина – от 0,75 до 1 км. Это небольшое озеро с протяженностью береговой линии 3 км, с глубиной – около 40 м и площадью зеркала – до 0,9 км<sup>2</sup>, при этом объём воды составляет примерно 14 км<sup>3</sup>. Согласно данным гидрометеостанции максимальный уровень воды наблюдается в августе [26]. По сравнению с другими исследуемыми озерами, значительно меньше видов микроводорослей обнаружено в пробах воды, отобранных в БАО. При исследовании проб фитопланктона БАО обнаружено 26 видов микроводорослей, относящихся к семи отделам. Так, определено 3 вида из отдела *Cyanophyta*, 2 вида из *Chrysophyta*, 8 видов из отдела *Bacillariophyta*, 7 видов зеленых водорослей от-

дела *Chlorophyta*, 4 представителя *Cryptophyta*, и наименьшим числом представлены *Dinophyta* и *Euglenophyta* по 1 вида соответственно (табл. 2). Численно преобладают диатомовые водоросли: *Navicula*, *Pinnularia*, *Gomphonema*, *Cymbella*, *Achnanthes* (34,4%), что является характерной особенностью фитопланктона холодных озер, так большинство представителей данного отдела микроводорослей являются холодолюбивыми видами. Также необходимо отметить, что о распределении фототрофных микроорганизмов, которая не отличалась однородностью. Так на разных участках вдоль оси количество вегетирующих видов водорослей было различным. Около 50% микроводорослей из всех определенных видов в БАО являются сапробными видами. Так определены индикаторные виды микроводорослей олиго-, ксеносапробных зон, из них доминируют ксеносапробные микроводоросли, такие, как *Gloeocapsa sanguinea*, *Cyclotella comta*, *Pinnularia nobilis*, *Navicula gracilis* (Рисунок 4). Индекс сапробности по методу Пантле – Букка S равен 0,5.



Рисунок 4 – Микрофотографии часто встречаемых микроводорослей в БАО (при увеличении x100)

В пробах отобранных из различных озер Алматинской области, а именно из озер Балхаш, Иссык и Алаколь выявлено множество видов различных фототрофных микроорганизмов, которые приспособлены к существованию в этих условиях. Многие из них представляют интерес как высокопродуктивные штаммы микроводорослей для применения в экологической биотехнологии. В связи с этим, необходимо выделение диких видов микроводорослей из симбиотических сообществ. Получение альгологически чистых культур микроводорослей представляет трудоемкий процесс и требует длительного времени. Из полученных накопительных культур полу-

чены альгологически чистые культуры методом многократных последовательных пересевов в соответствующие питательные среды. Монокультуры микроводорослей получали методом посева штрихом и с помощью микропипетки. Альгологическую чистоту выделенных культур проверяли методом микроскопирования. В результате проведенных пересевов из проб, отобранных из озер Алматинской области, были получены накопительные культуры микроводорослей, после чего в результате серии многократных пересевов на селективные среды получены 5 альгологически чистые культуры микроводорослей. Из озера Балхаш были выделены альгологически чистые

культуры *Nephrochlamys* sp. и *Parachlorella* sp., из озера Иссык были выделены *Ankistrodesmus falcatus* и *Monoraphidium griffithii*, из БАО были выделены *Monoraphidium* sp. На следующем этапе полученные альгологически чистые культуры микроводорослей будут подвергаться очистке от бактерий-спутников.

Таким образом, согласно полученным результатам, большинство из исследованных озер, кроме БАО, в различной степени все же испытывают отрицательное антропогенное воздействие. В настоящее время максимальной нагрузке подвержено оз. Балхаш, рядом с которым в свое время проводились работы по сбросу сточных вод подразделением «Казахмыс» – ПО «Балхашмыс». С его сточными водами на протяжении многих лет в объеме 91041 тыс.м.<sup>3</sup> в год в озеро ежегодно поступало до 0,362 тонны меди, 0,435 т свинца, 0,465 т мышьяка [18]. И даже несмотря на то, что в настоящее время сбросы близлежащих производств в воду озера приостановлены, все же озеро испытывает последствия этих антропогенных воздействий. В результате в озере изменилась прозрачность воды и ряд других гидрохимических показателей, которые в свою очередь сказались на развитии фитопланктона. Несомненно, сохранение исследованных озер в первоначальном виде необходимо как в связи с природоохранным статусом исследованной территории, так и с огромным хозяйственным значением водных ресурсов в жизнедеятельности населения. Для этого необходимо принимать все меры по восстановлению нарушенных водных экосистем, что в свою очередь требует отслеживания происходящих изменений, а также принятия всех необходимых мер, чтобы не допустить дальнейшего загрязнения водоема.

Установлено, что фитопланктон изучаемых озер достаточно разнообразен. В их составе за исследовательский период зафиксировано 26-92 таксонов водорослей. Наибольшее число видов, разновидностей и форм водорослей зарегистрировано в озерах Балхаш и Алаколь, испытывающих большую антропогенную нагрузку чем остальные озера. Степень сходства водорослей, развивающихся в исследованных пяти озерах, низкая, что вероятно объясняется особенностями гидрологического и гидротермического режимов изучаемых объектов, и еще в зависимости от различной степени антропогенного воздействия, которое, видимо, и является основной причиной того, что в каждом озере был сформирован специфический альгоценоз. Выявлено, что видовое разнообразие фототрофных микроорганизмов, доминирующих по своей численности, также отличается в исследованных озерах. Установлено, что наиболее малочисленное видовое разнообразие микроводорослей было зарегистрировано в Большом Алматинском озере и наиболее богатая альгофлора наблюдается в озере Балхаш.

Анализ альгофлоры пяти озер Алматинской области на наличие индикаторно-сапробных видов свидетельствует о загрязнении озера Балхаш ( $\alpha$ -мезосапробная зона) и озера Алаколь ( $\beta$ -мезосапробная зона) и об отсутствии признаков загрязнений в озерах Кольсай (олигосапробная зона), Иссык (олигосапробная зона) и БАО (ксеносапробная зона). По результатам работ по выделению чистых культур из проб, отобранных из озер Алматинской области, нами получены 5 альгологически чистых культур (*Nephrochlamys* sp., *Parachlorella* sp., *Monoraphidium* sp., *Ankistrodesmus falcatus* и *Monoraphidium griffithii*) для дальнейшего использования в биотехнологии.

#### Литература

- 1 Whittaker R.H. Evolution and measurement of species diversity // *Taxon*. – 2007. – No 21. – P. 213-251.
- 2 Hörnström E. Phytoplankton in 63 limed lakes in comparison with the distribution in 500 untreated lakes with varying pH // *Hydrobiologia*. – 2002.- Vol. 470. – P. 115-126.
- 3 John D.M., Whitton B.A., Brook A.J. The Freshwater Algal flora of the British Isles. An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae // Cambridge University Press. – 2002. – P. 704.
- 4 Заядан Б.К., Маторин Д.Н. Биомониторинг водных экосистем на основе микроводорослей. – М.: Изд-во "Альтекс", 2015. – 252 с.
- 5 Takamura N., Kadono Y., M. Fukushima, M. Nakagawa, B.-H. O. Kim. Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes // *Ecological Research*. – 2003. – Vol. 18. – P. 381-395.
- 6 Заядан Б.К. Экологическая биотехнология фототрофных микроорганизмов. Монография. – Алматы: Изд-во «Арыс», 2011. – 368 с.
- 7 George J. B. Estimating the Number of Microorganisms // *Basic Food Microbiology*. – 1989. – Vol. 5. – P. 11-48.
- 8 Заядан Б.К., Акмуханова Н.Р., Садвакасова А.К. Каталог коллекции культур микроводорослей и цианобактерий. – Алматы: «Абзал-Ай», 2017. – 135 с.
- 9 Голлербах М. М., Полянский В. Н. Пресноводные водоросли их изучение. – М.: Изд-во «Сов. наука». 2001. – 200 с.



- 10 Масюк Н. П., Кондратьева Н. В., Вассер С. П. Водоросли. – Киев, 1989. – 608 с.
- 11 Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. – М.: Изд-во «Сов. наука», 1951. – 618 с.
- 12 Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. – М.: Изд-во «Сов. наука», 1953. – 646 с.
- 13 Определитель пресноводных водорослей СССР. Зеленые водоросли. – Л.: Изд-во «Наука», 1982. – Вып. 11(2). – 624 с.
- 14 Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view // *Ergebnisse der Limnol.* – 1973. – Vol. 7. – P. 218.
- 15 Dirk V.D. Biological assessment of water quality: simple methods and guidelines // *Waterlines.* – 2001. – Vol. 20, No. 1. – P. 2-5.
- 16 Temraleeva A.D., Dronova S.A., Moskalenko S. V., Didovich S.V. Modern methods for isolation, purification, and cultivation of soil cyanobacteria // *Microbiology.* – 2016. –Vol. 85. – P.389–399.
- 17 Imentai A. et al. Vegetation, fauna, and biodiversity of the Ile Delta and southern Lake Balkhash — A review. // *Journal of Great Lakes Research.* – 2016. – Vol. 41, No 3. – P. 688-696.
- 18 Kezer K., Matsuyama H. Decrease of river runoff in the Lake Balkhash basin in Central Asia // *Hydrological Processes.* – 2006. – Vol. 20, No 6. – P. 1407-1423.
- 19 Мукаев Ж.Т. Геоэкологическая оценка территориально рекреационных систем бассейна озера Алаколь // Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD). – 2015. – 170 с.
- 20 Jiyezbekov A., Barinova S., Bigaliev A., Nurashov S., Sametova E., Fahima T. Ecological diversity of algae in the Alakol Lake natural Reserve Kazakhstan // *Botanica Pacifica. A journal of plant science and conservation.* – 2019. – Vol. 8. No 2. – P. 1-11.
- 21 Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands // *Netherland Journal of Aquatic Ecology.* – 1994. – Vol. 28, No 1. – P. 117–133.
- 22 Barinova S.S., Krupa E.G., Protasov A.A., Novoselova T.N. Benthification in the inland water ecosystems of Eurasia, some ecological aspects // *MOJ Ecology and Environmental Sciences.* – 2017. – Vol. 2, No 7. – P. 48.
- 23 Куншыгар Д.Ж., Романова С.М. Исследование процессов самоочищения природных вод Казахстана // *Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Том 2. Барнаул: Институт водных и экологических проблем СО РАН.* – 2011. – С. 231–237.
- 24 Романова С.М. Бессточные водоемы Казахстана. Том 1. Гидрохимический режим. – Алматы: Қазақ университеті, 2008. – 250 с.
- 25 Иващенко А.А. Заповедники и национальные парки Казахстана. – Алматы: ТОО «Алматы кітап». 2006. – 284 с.
- 26 Николаева О.П., Дирин Д.А. Теоретико-методологические основы исследований территориальных систем рекреационного природопользования // *Известия Алтайского государственного университета.* – 2011. – №3. – С. 103-107.

## References

- 1 Whittaker R.H. “Evolution and measurement of species diversity”. *Taxon*, no 21 (2007): 213-251.
- 2 Hörnström E. “Phytoplankton in 63 limed lakes in comparison with the distribution in 500 untreated lakes with varying pH”. *Hydrobiologia*, no 470 (2002): 115-126.
- 3 John D.M., Whitton B.A., Brook A.J. “The Freshwater Algal flora of the British Isles. An Identification Guid to Freshwater and Terrestrial Algae” Cambridge University Press. (2002): 704.
- 4 Zayadan B.K., Matorin D.N. Biomonitoring vodnyh ecosystem na osnove mikrovdoroslei [Biomonitoring of aquatic ecosystems based on microalgae]. M.: Izdatelstvo “Altex”, 2015. (In Russian).
- 5 Takamura N., Kadono Y.M., Fukushima M., Nakagawa B.H. “Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes”. *Ecological Research*, no 18 (2003): 381-395.
- 6 Zayadan B.K. “Ecologicheskaya biotekhnologiya fototrofnih mikroorganizmov [Ecological biotechnology of phototrophic microorganisms]”, Monografiya. Almaty: Izd-vo «Arys», 2011. 368. (In Russian).
- 7 George J. B. “Estimating the Number of Microorganisms”. *Basic Food Microbiology*. no 5. (1989): 11-48.
- 8 Zayadan B.K., Akmukhanova N.R., Sadvakasova A.K., Akmukhanova N.R. Katalog kolekcii kultur mikrovdoroslei I cianobakterii [Catalog of the collection of microalgae and cyanobacteria cultures]. Almaty: «Abzal-ai». 2017. 135 (In Russian).
- 9 Gollerbah M.M., Polyanskii V.N. Presnovodnye vodorosli ih izuchenie [Freshwater algae study them] – Moscow: Izd-vo Sov. the science”. 2001. 200. (In Russian).
- 10 Masuk N.P., Kondrateva N.V. Vasser S.P. Vodorosli [Algae]. Kiev. 1989. 608. (In Russian).
- 11 Opredelitel presnovodnyh vodoroslei SSSR. [The determinant of freshwater algae of the USSR] Issue. 4. Diatoms. – Moscow: Izd-vo Sov. the science. 1961. 618. (In Russian).
- 12 Opredelitel presnovodnyh vodoroslei SSSR [The determinant of freshwater algae of the USSR] Issue. 2. Blue-green algae. – Moscow: Izd-vo Sov. the science., 1953, 646. (In Russian).
- 13 Opredelitel presnovodnyh vodoroslei SSSR [The determinant of freshwater algae of the USSR] Issue. 11 (2). Green algae. – Moscow: Izd-vo “Science”, 1982. 624. (In Russian).
- 14 Sladeczek V.: “System of water quality from the biological point of view”. *Ergebnisse der Limnol.*, no 7 (1973): 218.
- 15 Dirk V. D. “Biological assessment of water quality: simple methods and guidelines” *Waterlines*. no 21 (2001): 2-5.
- 16 Temraleeva A.D., Dronova S.A., Moskalenko S.V., Didovich S.V. “Modern methods for isolation, purification, and cultivation of soil cyanobacteria” *Microbiology*, no 85 (2016): 389–399.

17 Imentai A. et al. "Vegetation, fauna, and biodiversity of the Ile Delta and southern Lake Balkhash" *Journal of Great Lakes Research*, no 3 (2016): P. 688-696.

18 Kezer K., Matsuyama H. "Decrease of river runoff in the Lake Balkhash basin in Central Asia". *Hydrological Processes*, no 6 (2006): 1407-1423.

19 Mukaev Zh.T. *Geoecologicheskaya ocenka territorialno rekreativnykh sistem basseina ozera Alakol* [Geoecological assessment of territorial and recreational systems of the Alakol lake basin]. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora filosofii* (PhD). (2015): 170 (In Russian).

20 Jiyenbekov A., Barinova S., Bigaliev A., Nurashov S., Sametova E., Fahima T. "Ecological diversity of algae in the Alakol Lake natural Reserve Kazakhstan". *Botanica Pacifica. A journal of plant science and conservation*, no 2 (2019): 1-11.

21 Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. "A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands". *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, no 1 (1994): 117-133.








22 Barinova S.S., Krupa E.G., Protasov A.A., Novoselova T.N. "Benthification in the inland water ecosystems of Eurasia, some ecological aspects" *MOJ Ecology and Environmental Sciences*, no 7 (2017): 48.

23 Kunshygar D.Zh., Romnova S.M. "Issledovanie processov samoochisheni prirodnih vod Kazakhstana [Research of processes of self-purification of natural waters of Kazakhstan]" *Vodnye i ekologicheskie problemy Sibirii i centralnoi Azii. Tom 2. Barnaul: Institut vodnyh i ekologicheskikh problem SO RAN.* (2011): 231-237 (In Russian).

24 Romanova S.M. "Besstochnye vodoemy Kazakhstana [Drainless water reservoirs of Kazakhstan]". Tom 1. *Gidrokhemicheskii rezhim. Almaty: Kazak universiteti*, (2008): 250 (In Russian).

25 Iveshenko A.A. *Zapovedniki i nacionalnye parki Kazakhstana* [Reserves and national parks of Kazakhstan]. Almaty: TOO «Almaty kitap». 2006 (In Russian).

26 Nicolaeva O.P., Dirin D.A. "Teoretiko-metodologicheskoe osnovy issledovani territorialnykh sistem rekreacionnogo prirodopolzovaniy [Theoretical and methodological bases of research of territorial systems of recreational nature management]" *Izvestia Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*, no 3 (2011): 103-107.

**Б.Ш. Калиев<sup>1,2\*</sup>** , **Л.А. Димеева<sup>2</sup>** , **Қ. Үсен<sup>2</sup>** ,  
**А.В. Кердяшкин<sup>2</sup>** , **Ж.К. Салмуханбетова<sup>2</sup>** ,  
**А.А. Иманалинова<sup>2,3</sup>** , **Е.Т. Аблайханов<sup>2,3</sup>** 

<sup>1</sup>Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>2</sup>РМК «Ботаника және фитоинтродукция институты» ҚР ЭГТРМ ОШЖДҚ, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>3</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,

\*e-mail: bedelkaliyev@gmail.com

## ЖЕТІСУ АЛАТАУЫ ӨСІМДІКЖАБЫНЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ-ФИЗИОНОМИЯЛЫҚ ТИПТЕРІ

Мақалада 2014–2019 жылдары жүргізілген Жетісу Алатауының өсімдік жамылғысын зерттеу жұмыстарының нәтижелері жинақталып, оның негізінде экологиялық-фитоценоздық жіктеме құрастырылады. Экологиялық жіктемелерді құрастыру әдістері мен әр тәсілдің (доминанттық және детерминанттық) артықшылығы мен кемшілігі қысқаша баяндалады.

Өсімдікжабын жіктемесін жасауда таксондарға бөлудің доминанттық тәсілі қабылданды. Таксономиялық бірліктер иерархиясына өсімдікжабын типі, формация класы (экологиялық-физиономиялық тип) және ассоциация топтары кіреді. Жетісу Алатауының өсімдік жамылғысы өсімдікжабынның 6 типіне жіктеледі, олар: орман, бұта, шалғын, батпак, дала және шөл типтері. Өсімдікжабынның әр типі экологиялық-физиономиялық категориялардан (жалпы саны – 20) тұрады. Ормандар – қылқан жапырақты, ұсақ жапырақты және жайылма ормандары; бұталар – петрофиттік, галофиттік, өзен аңғарларындағы мезофиттік және мезоксерофиттік бұталар – мәңгі жасыл жатаған бұталар; шалғындар – биіктаудағы аласашөпті альпілік, биіктаудағы орташашөпті субальпілік, орташатаудағы биікшөпті, далаланған, галофиттік, жайылмалық (батпақты, нағыз); шөпті батпақтар; далалар – жусанды-шымды астықтұқымдастар (шөлденген), шымды астықтұқымдастар (нағыз), байалуаншөпті-шымды астықтұқымдастар (шалғынды), биік тау даласы; шөлдер – галофиттік жартылай бұталы, псаммофиттік бұталы болып бөлінеді. Әр өсімдікжабын типі үшін түр алуандығының фитоценоздық сипаттамасы мен биіктік белдеуге қатыстылығы берілген.

**Түйін сөздер:** Жетісу Алатауы, өсімдікжабын жіктемесі, экологиялық-физиономиялық тәсіл, өсімдік қауымдастықтары, фитоценоздық сипаттама.

B.Sh. Kaliyev<sup>1,2\*</sup>, L.A. Dimeyeva<sup>2</sup>, K. Ussen<sup>2</sup>, A.V. Kerdyashkin<sup>2</sup>,  
Z.K. Salmukhanbetova<sup>2</sup>, A.A. Imanalinoва<sup>2,3</sup>, E.T. Ablai Khanov<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>RSE «Institute of botany and phytointroduction» CFW MEGNR RK, Kazakhstan, Almaty

<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty,

\*e-mail: bedelkaliyev@gmail.com

### Ecological and physiognomic vegetation types of Zhetysu Alatau mountains

The article presents the studying outcomes from 2014 to 2019 of vegetation cover of Zhetysu Alatau mountains, and also it summarized types of compiled ecological-phytocenotic classification. The main methods of compiling environmental classifications are briefly represented, and the advantages and disadvantages of each approach are described: dominant and determinant.

While creating of vegetation classification, the dominant approach to the allocation of taxa is adopted. The taxonomic hierarchy includes units: vegetation types, class formation (ecological-physiognomic type), group association. The vegetation cover of Zhetysu Alatau belongs to 6 types of vegetation: forest, shrubby, meadow, swamp, steppe, deserts. Each type includes ecological and physiognomic vegetation categories (20 in total): forests – dark coniferous, small-leaved, floodplain; shrub thickets – petrophytic, halophytic, mesophytic and mesoxerophytic along river valleys, evergreen elfin woods; meadows – high-mountain low-herb alpine, high-mountain mid-herb subalpine, mid-mountain high-herb, steppes, halophytic, floodplain (swamp, typical); swamp grass; steppes – wormwood-grasses (deserts), grass-

es (true), rich forb-grass (meadow), high-mountain; deserts – halophytic semi-shrubs, psammophytic shrubs. Phytocenotic characteristics of species diversity for each type of vegetation and its association with high-altitude zones are given.

**Key words:** Zhetysu Alatau mountains, vegetation classification, ecological physiognomic approach, plant communities, phytocenotic characteristics.

Б.Ш. Калиев<sup>1,2\*</sup>, А.А. Димеева<sup>2</sup>, К. Усен<sup>2</sup>, А.В. Кердяшкин<sup>2</sup>,  
Ж.К. Салмуханбетова<sup>2</sup>, А.А. Иманалинова<sup>2,3</sup>, Е.Т. Аблайханов<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный аграрный университет, Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» КЛХЖМ МЭГПР РК, Казахстан, г. Алматы

<sup>3</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы,  
\*e-mail: bedelkaliyev@gmail.com

### Эколого-физиономические типы растительности Жетысуского Алатау

В статье представлены результаты исследования растительного покрова Жетысуского Алатау в период с 2014 по 2019 гг. и обобщены в виде составленной эколого-фитоценотической классификации. В краткой форме изложены основные методы составления экологических классификаций и описываются преимущества и недостатки каждого из подходов: доминантного и детерминантного.

При создании классификации растительности принят доминантный подход выделения таксонов. Иерархия таксономических единиц включает: тип растительности, класс формаций (эколого-физиономический тип), группу ассоциаций. Растительный покров Жетысуского Алатау относится к 6 типам растительности: лесной, кустарниковый, луговой, болотный, степной, пустынный. Каждый тип включает эколого-физиономические категории растительности (всего 20): леса – темнохвойные, мелколиственные, пойменные; кустарниковые заросли – петрофитные, галофитные, мезофитные и мезоксерофитные по речным долинам, вечнозеленые стланики; луга – высокогорные низкотравные альпийские, высокогорные среднетравные субальпийские, среднегорные высокотравные, остепненные, галофитные, пойменные (болотистые, настоящие); травяные болота; степи – полинно-дерновиннозлаковые (опустыненные), дерновиннозлаковые (настоящие), богаторазнотравно-дерновиннозлаковые (луговые), высокогорные; пустыни – галофитнополукустарниковые, псаммофитнокустарниковые. Для каждого типа растительности приведена фитоценотическая характеристика видового разнообразия и приуроченность к высотным поясам.

**Ключевые слова:** Жетысуский Алатау, классификация растительности, эколого-физиономический подход, растительные сообщества, фитоценотическая характеристика.

### Кіріспе

Жетісу Алатауы – солтүстіктен оңтүстікке қарай Алакөл мен Іле өзені аралығында орналасқан тау жоталары мен тауаралық ойпаттар кешені. Меридиан бағытта созылып, бір-біріне параллель жатқан солтүстік және оңтүстік макробеткейлер Көксу және Бортола өзендерінің аңғарларын бойлай бөлінеді [1].

Ботаникалық-географиялық аудандастыруға сәйкес Жетісу Алатауы Жоңғар-Солтүстік Тяньшань таулы провинциясына жатады. Бұл провинция Іле-Солтүстікжонғар белдеулік типіне тән – Солтүстікжонғар; және Күнгей-Теріскей-Кетпен белдеулік типіне жататын – Күнгей-Теріскей-Кетпен-Оңтүстікжонғар таулы провинция тармақтарынан тұрады [2]. Аймақтың өсімдікжабынының кеңістікте таралу заңдылықтарын зерттеу жұмыстарымен 20 ғасырдың орта тұстарында Н.И. Рубцов

айналысқан [3], В.П. Голоскоков және т.б. тарапынан флоралық құрамы анықталған [4]. Н.И. Рубцовтың геоботаникалық аудандастыруына сәйкес Солтүстік макробеткей – Жоңғар геоботаникалық округінің Солтүстікжонғар; ал оңтүстік макробеткей – Оңтүстікжонғар аудандарының құрамына кіреді. Солтүстікжонғар ауданын екі шағын аудан бөліктеріне: шалғынды формациялар басым келетін – Лепсі мен шалғынды және далалық формациялар қатар кездесетін – Қапалға жіктейді. Солтүстікжонғар геоботаникалық ауданының Оңтүстікжонғардан басты айырмашылықтары: қар шекарасының төмен жатуы, топырақ жамылғысында лессты саздақтардың басым келуі, мейлінше дамыған гидрографиялық желілер, салқындау климат, үштік шөгінділердің аз дамуы және т.б. [3, 5]. Ал оңтүстік макробеткейдің өзіндік ерекшеліктеріне орман белдеуінің редукциясын, дала өсімдікжабынының кең биіктік диапазо-

ны мен биік таулардың құрғақтығын жатқызуға болады.

### Зерттеу нысаны және зерттеу әдістері

Жетісу Алатауы солтүстік макробеткейінің өсімдікжабынын зерттеу жұмыстары 2015 жылы биіктік диапазоны 916 м-ден (Тополевка өзені) 2136 м-ге (Сегізбай асуы) дейінгі 37 маңызды телімді қамтыды, 2018-2019 жылдары әртүрлі феноклиматтық маусымдарда теңіз деңгейінен 777 м-ден (Байтурбау алқабы) 3078 м (Жоғарғы Жасылкөл) аралықтарындағы 83 телімде жүргізілді. Ал оңтүстік макробеткейді зерттеу экспедициялары 2014-2015 жылдары Қатутау аласа тауларынан (700 м) орташа таулардың жоғарғы бөлігіне (Тышқантау, 1846 м) дейінгі 100-ден астам телімдерде жүргізілді.

Экспедициялық мәліметтерді, осыдан ілгері жүргізілген зерттеулер мен әдебиеттік материалдарды [3, 4, 6-13] өңдеп, талдау нәтижесінде аймақ бойынша жинақталған геоботаникалық мағлұматтарды жүйелеуге мүмкіндік беретін экологиялық-фитоценоздық жіктеме құрастырылды.

Экологиялық жіктеменің негізгі тұжырымдамасын даниялық ботаник, өсімдік қауымдастықтарының экологиясы идеясын қалаушы Е. Варминг ұсынған [14], ал оның теориялық негіздемесін неміс ғалымы Л. Дильс әзірлеген [15]. Қазіргі кезде өсімдікжабынды экологиялық жіктеу мәселесімен айналысатын ғалымдар арасында екі тәсіл кең қолданысқа ие, олар: доминанттық (физиономиялық) және детерминанттық (флоралық) тәсілдер. Физиономиялық жіктемеде өсімдіктің сыртқы көрінісінің ортақ белгілеріне қарай топтастырылатын болса, флоралық жіктемеге ортақ экологиялық амплитудаға негізделген біріктіру тән [16, 17]. Әрбірінің өзіне тән ұтымды тұстары мен кемшіліктері кездеседі.

Физиономиялық тұжырымдамаға сәйкес фитоценоздың қалыптасуы мен қызмет етуінде доминанттардың ролі басым келеді, сондықтан жіктеме құрастыру барысында доминанттың қандай да бір белгісі пайдаланылады [18]. Бұл тәсілдеменің басты ұтымдылығы – қолданудың қарапайымдылығы мен үнемділігі. Геоботаникалық жазбаларды тіршілік формалары мен эдификаторлардың экологиясы бойынша өңдеу арқылы амалға асатын дедуктивтік әдістерге негізделген. Оның үстіне қашықтықтан зондылау мәліметтері құрастырылатын геоботаникалық картаға оңай енгізіледі, себебі мұндай

мәліметтер өсімдікжабынның физиономиялық белгілері бойынша дешифрленеді [19]. Сондай-ақ, доминанттық белгілері бойынша жіктелетін синтаксондарды шаруашылық тұрғыдан тиімді пайдалануға да ыңғайлы. Физиономиялық жіктеменің тиімсіз тұстарына: кей түрлердің (шөптесін) уақыт пен кеңістіктегі тұрақсыздығы, жіктелетін бірліктердің экологиялық бір текті еместігі, жіктеменің төменгі бірліктерінің (фитоценоздар) санының көп болуы және аумағының шағын келуі салдарынан ірі масштабты геоботаникалық карталарда көбінесе көрініс таппай жататындығы және т.б. кіреді [20].

Детерминанттық тәсіл (экологиялық-флоралық жіктеме) дедуктивтік-индуктивтік әдістерге жақын. Синтаксонды анықтау процедурасы өсімдік қауымдастықтарын флоралық құрамының ұқсастығы бойынша топтастыру арқылы іске асырылады [21]. Браун-Бланке әдісін (детерминанттық) [22] пайдаланудың оңтайлы тұстары ретінде оның әмбебаптығын, қарастырылатын синтаксонның экологиялық жағдайы мен сукцессия кезеңдері жайлы ақпаратты беретіндігін, номенклатуралық базаға ие екендігін айтуға болады [23]. Дегенмен бұл тәсілдің де кемшіліктерін біраз экологтар тілге тиек етеді. А.М. Гиляровтың (2005) пікірінше, «...жекелеген түрлердің кеңістік-уақыттық таралуындағы себеп-салдарлық шарттарды зерттеуден, оларды түсіну әрекеттерінен бас тартуға жол беріледі (мысалы, олардың топырақ түрлеріне, ылғалдылыққа тәуелділігі, бәсекелестердің болуы және т.б. ескерілмейді)» [24]. Таксондарға жіктеу талаптарының жалпы шарттылығы мен оның субъективтілігі – бұл тәсілдің толық объективті екендігіне күмән келтіреді.

Өсімдікжабынды жіктеу барысында таксондарға бөлудің физиономиялық тәсілі пайдаланылды [2, 25, 26]. Доминанттық тәсіл өсімдікжабынды картаға түсіру барысында кеңінен қолданылады (Ellenberg, 1956; 1973; Kuchler, 1949; 1967; Карта..., 1995 және т.б.) [27-31]. Экологиялық-фитоценоздық жіктеме категориялары Жетісу Алатауындағы маңызды телімдердің өсімдікжабынын картаға түсіруде кеңінен пайдаланылды, ал типологиялық жіктеме таксондары карта легендаларын құрастыруға негіз болды.

Таксономиялық бірліктер иерархиясы өсімдікжабын типін, формация класын және ассоциация топтарын қамтиды. Өсімдікжабын типі – доминанттары бір (орман, бұта, шалғын, батпақ, дала типтері) немесе бірнеше (шөл) тіршілік формаларына жататын өсімдік фор-

мацияларының жиынтығы. Формация класы ұғымы өсімдікжабынның экологиялық-физиономиялық категориясы ұғымына жақын. Бір экобиоморфа жататын доминанттар мен экологиялық орталары сәйкес түр топтарынан (гранулометриялық құрамы, топырақтың тұздануы бойынша) тұратын өсімдік қауымдастықтары экологиялық-физиономиялық категорияларға біріктіріледі [2]. Ассоциация топтары өз кезегінде жікқабат құрамы ұқсас ассоциацияларды қамтиды.

Өсімдіктердің барлық түрлері «Қазақстан өсімдіктерін иллюстрациялы анықтағыш» [32] және «Қазақстан флорасы» [33] құралдарының көмегімен анықталып, қазақ тіліндегі атаулары С.А. Арыстанғалиевтің (1977; 2013) «Қазақстан өсімдіктері» [34, 35] еңбегінің негізінде алынды. Түрлердің атаулары соңғы таксономиялық өзгерістерді ескере отырып берілді [36, 37].

### Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Жетісу Алатауының өсімдік жамылғысы өсімдікжабынның: орман, бұта, шалғын, батпақ, дала және шөл типтерінен тұрады. Төмендегі кестеде өсімдікжабынның әрбір типі үшін жіктелік сызба беріледі (1-кесте).

Экологиялық-физиономиялық жіктемеге сәйкес өсімдікжабынның ормандар типі қылқан жапырақты (1700-2300 м), ұсақ жапырақты (1400-1700 м) және жайылма ормандарынан тұрады [2]. Қылқан жапырақты ормандардың эдификаторы – Шренк шыршасы (*Picea schrenkiana*) [38]. Шырша ормандары қалың тұтас орман түрінде және парк типіндегі сирек орман түрінде кең таралған. Дегенмен қалың орман учаскелері сиректеу кездеседі, ылғалдылығы көбірек орындарда шыршамен араласа сібір самырсыны (*Abies sibirica*) өседі. Шырша ормандарының ерекшеліктерін біраз ғалымдар (Родин, 1933; Рубцов, 1948; Быков, 1989; Ролдугин, 1989) сипаттаған [12]. Шырша ормандары негізінен еңістігі 15-45° беткейлердің солтүстік экспозицияларында таралған. Солтүстік макробеткейде шырша ормандары айқын байқалатын тұтас белдеуді қалыптастырады, әрі кең таралған. Оңтүстік макробеткейде қылқан жапырақты ормандар фрагменттер түрінде ғана шығыс беткейлерде (Қояндытау, Тышқантау және т.б.) кездеседі [3, 7]. Шырша ормандарының алуандығын бірнеше топқа бөліп қарастыруға болады, олар:

самырсынды, көктеректі, теректі, бұталы, алуаншөпті және мүкті шырша ормандары.

Алуаншөпті шырша ормандары басқа (мүкті, бұталы) шырша ормандарына қарағанда біраз көбірек, әрі еңістеу беткейлерде таралған. Шөптесіндер жікқабатында қой бүлдірген (*Rubus saxatilis* L.) көбірек, кәдімгі қырықаяқ папоротник (*Polypodium vulgare* L.), шоғыр қоңыраугүлі (*Campanula glomerata*), кәдімгі сарыраушан (*Solidago virgaurea* L.), маралоты (*Thalictrum minus*, *Thalictrum simplex* L.), әсем қалампыр (*Dianthus superbus* L.), көкшіл көкшегүл (*Polemonium caeruleum* L.), жіпілген иісгүл (*Codonopsis clematidea* (Schrenk) C. B. Clarke) және т.б. мол таралған. Бұталар жікқабатында кәдімгі мойыл (*Prunus padus*), раушан түрлері (*Rosa beggeriana* Schrenk ex Fisch. & C. A. Mey., *R. platyacantha*), үшқат (*Lonicera webbiana* Wall. ex DC), кәдімгі таңқурай (*Rubus idaeus*), ырғай түрлері (*Cotoneaster multiflorus* Bunge, *C. melanocarpus* Fisch. ex A. Blytt, *C. pojarkovae* Zakirov), мейер қарақаты (*Ribes meyeri* Maxim.) басым келеді.

Мүкті шырша ормандары қия солтүстік беткейлердің теңіз деңгейінен 1700-2000 м биіктік диапозондары аралығында кездеседі, онда абитинелла (*Thuidium abietinum* (Hedw.) Schimp) мен дрепанокладтан (*Drepanocladus uncinatus* (Hedw.) Warnst.) тұратын мүкті жабын жақсы дамыған. Өлі жамылғылы шырша ормандары өзен шатқалдарының ескі текшелеріне тән. Жерге түскен қылқан қалдықтарынан тұратын өлі төсеніш айтарлықтай қалың келеді. Бұталар жікқабатында жекелеген кәдімгі таңқурай (*Rubus idaeus*), тікенді қарақат (*Ribes aciculare* Sm.) кездеседі.

Бұталы шырша ормандары мүкті ормандарға қарағанда көбірек. Ағашқұрамда тянь-шань шетенінің (*Sorbus tianschanica*) үлесі молырақ. Бұталы жікқабатты үшқат (*Lonicera humilis* Kar. & Kir., *L. webbiana*, *L. hispida* Pall. ex Schult., *L. caerulea* L., *L. Microphylla*) пен раушан түрлері (*Rosa beggeriana*, *R. albertii* Regel, *R. spinosissima*), бөріқарақат (*Berberis heteropoda*), ырғай түрлері (*Cotoneaster multiflorus*, *C. Melanocarpus*), мейер қарақаты (*Ribes meyeri*) қалыптастырады. Шөптесін өсімдіктерден кәдімгі бетеге (*Festuca valesiaca*), түркістан көкгүлі (*Gentianella turkestanorum* (Gand.) Holub), үлкен сүйелшөп (*Chelidonium majus* L.), кәдімгі сарыраушан (*Solidago virgaurea*), гмелин атбұршағы (*Lathyrus gmelinii* Fritsch) және т.б. түрлер тіркелді.

1-кесте – Жетісу Алатауы өсімдікжабынының экологиялық-физиономиялық типтері

Өсімдікжабын типтері	Экологиялық-физиономиялық категориялар	Қауымдастықтардың негізгі типтері
Ормандар	Қылқан жапырақты	Самырсынды-шырша ( <i>Picea schrenkiana</i> Fisch. & C.A.Mey., <i>Abiessibirica</i> Ledeb.)
		Мүкті-алуаншөпті-бұталы шырша ( <i>Picea schrenkiana</i> , <i>Euonymus semenovii</i> Regel & Herder, <i>Lonicera humilis</i> Kar. & Kir., <i>L. tatarica</i> L., <i>Gentianellaturkestanorum</i> (Gand.) Holub, <i>Fragaria viridis</i> Weston, <i>Trifolium pratense</i> L., <i>Abietinella abietina</i> (Hedw.) M. Fleisch., <i>Cotoneaster oliganthus</i> Pojark.)
		Бұталар аралас алуаншөпті шырша ( <i>Picea schrenkiana</i> , <i>Hieracium umbellatum</i> L., <i>Campanula glomerata</i> L., <i>Rubus idaeus</i> L., <i>Ribes aciculare</i> Sm.)
		Қайың мен шетен аралас алуаншөпті шырша ( <i>Picea schrenkiana</i> , <i>Betula tianschanica</i> Rupr., <i>Sorbus tianschanica</i> Rupr.)
		Тобылғы мен ұшқат аралас шырша ( <i>Picea schrenkiana</i> , <i>Spiraea tianschanica</i> Pojark., <i>Lonicera olgae</i> Regel & Schmalh.)
		Бұталы-алуаншөпті-көктеректі шырша ( <i>Picea schrenkiana</i> , <i>Populus tremula</i> L., <i>Vicia tenuifolia</i> Roth, <i>Thalictrum flavum</i> L., <i>Rubus idaeus</i> , <i>Rosa beggeriana</i> Schrenk ex Fisch. & C.A.Mey., <i>Juniperus sibirica</i> Burgsd.)
		Теректі шырша ( <i>Picea schrenkiana</i> , <i>Populus talassica</i> Kom., <i>Salix cinerea</i> L.)
		Мүкті-шырша ( <i>Picea schrenkiana</i> , <i>Abietinella abietina</i> (Hedw.) M. Fleisch., <i>Rhytidadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst., <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.)
		Шетен мен раушан аралас алуаншөпті-мүкті-шырша ( <i>Picea schrenkiana</i> , <i>Syntrichia papillosa</i> (Wilson) Jur., <i>Dicranum scoparium</i> Hedw., <i>Lactuca azurea</i> (Ledeb.) Danguy, <i>Orthilia secunda</i> (L.) House, <i>Sorbus tianschanica</i> , <i>Rosa beggeriana</i> )
	Ұсақ жапырақты	Раушан аралас астықтұқымдасты-алма ағашы ( <i>Malus sieversii</i> (Ledeb.) M. Roem., <i>Dactylis glomerata</i> L., <i>Rosa platyacantha</i> Schrenk)
		Алуаншөпті-алма ағашы ( <i>Malus sieversii</i> , <i>M. niedzwetzkyana</i> Dieck ex Koehne, <i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) P.Beauv., <i>Pulmonaria mollis</i> Wulfen ex Hornem., <i>Ranunculus repens</i> L.)
		Таңқурай мен ұшқат аралас алуаншөпті-астықтұқымдасты-алма ағашы ( <i>Malus sieversii</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Brachypodium pinnatum</i> , <i>Pulmonaria mollis</i> , <i>Hedysarum neglectum</i> Ledeb., <i>Rubus idaeus</i> , <i>Lonicera microphylla</i> Willd. ex Schult.)
		Астықтұқымдасты-бұталы-алма ағашы ( <i>Malus sieversii</i> , <i>Spiraea hypericifolia</i> L., <i>Berberis heteropoda</i> Schrenk, <i>Rosa platyacantha</i> , <i>Poa bulbosa</i> L., <i>Bromus japonicus</i> Thunb., <i>Alopecurus pratensis</i> L.)
		Шие мен мойыл аралас алуаншөпті-бұталы-алма ағашы ( <i>Malus sieversii</i> , <i>Prunus stepposa</i> Kotov, <i>Aconitum</i> sp., <i>Pulmonaria mollis</i> , <i>Heracleum dissectifolium</i> K.T. F, <i>Ranunculus repens</i> , <i>Prunus padus</i> L., <i>Cerasus tianshanica</i> Pojark.)
		Бұталы-алма ағашы ( <i>Malus sieversii</i> , <i>Rosa albertii</i> Regel, <i>Spiraea hypericifolia</i> , <i>Lonicera microphylla</i> )
		Алуаншөпті-доланалы-алма ағашы ( <i>Malus sieversii</i> , <i>Crataegus songarica</i> K. Koch, <i>Rubus idaeus</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Pulmonaria mollis</i> , <i>Corydalis ledebouriana</i> Kar. & Kir., <i>Aquilegia vitalii</i> Gamajun.)
		Долана аралас көктеректі-үйеңкілі-алма ағашы ( <i>Malus sieversii</i> , <i>Acer tataricum</i> subsp. <i>semenovii</i> (Regel & Herder) A.E.Murray, <i>Populus tremula</i> , <i>Crataegus songarica</i> )
		Астықтұқымдастар мен алуаншөптер аралас самырсынды-көктерек ( <i>Populus tremula</i> , <i>Abies sibirica</i> , <i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P.Beauv., <i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.)
	Жайылма	Қайың аралас алуаншөпті-талды-терек ( <i>Populus laurifolia</i> Ledeb., <i>Salix pentandra</i> L., <i>S. viminalis</i> L., <i>Myricaria germanica</i> (L.) Desv., <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Sanguisorba officinalis</i> L., <i>Betula pendula</i> Roth)
		Алуаншөпті-бұталы-терек ( <i>Populus talassica</i> , <i>Elaeagnus rhamnoides</i> (L.) A.Nelson, <i>Lonicera microphylla</i> , <i>Poa pratensis</i> L., <i>Centaurea virgata</i> subsp. <i>squarrosa</i> (Boiss.) Gugler)
		Алма ағашы аралас алуаншөпті-астықтұқымдасты-тал ( <i>Salix triandra</i> L., <i>Elymus repens</i> (L.) Gould, <i>Bromus inermis</i> Leyss., <i>Allium caesium</i> Schrenk, <i>Epilobium hirsutum</i> )

Өсімдікжабын типтері	Экологиялық-физиономиялық категориялар	Қауымдастықтардың негізгі типтері
		<p><i>L., Malus sieversii</i>)</p> <p>Қайың мен шырша аралас бұталы талдар (<i>Salix alba</i> L., <i>Berberis sphaerocarpa</i>, <i>Betula pendula</i>, <i>Picea schrenkiana</i>)</p> <p>Терек пен қарағаш аралас талдар (<i>Salix rosmarinifolia</i> L., <i>Myricaria germanica</i>, <i>Populus talassica</i>, <i>Ulmus pumila</i> L.)</p> <p>Алуаншөпті-бұталы қайың (<i>Betula tianschanica</i>, <i>Salix kirilowiana</i> Stschegl., <i>Myricaria germanica</i>, <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv., <i>Dactylis glomerata</i>, <i>Achillea millefolium</i> L., <i>Rumex confertus</i> Willd.)</p> <p>Шырша мен самырсын аралас талды-теректі қайың (<i>Betula pendula</i>, <i>Populus talassica</i>, <i>P. tremula</i>, <i>Salix triandra</i>, <i>Picea schrenkiana</i>, <i>Abies sibirica</i>)</p> <p>Көктерек пен шетен аралас алуаншөпті-бұталы қайың (<i>Betula pendula</i>, <i>Berberis sphaerocarpa</i>, <i>Lonicera tatarica</i> L., <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski, <i>Trifolium pratense</i>., <i>Plantago major</i> L., <i>Lathyrus tuberosus</i> L., <i>Populus tremula</i>, <i>Sorbus tianschanica</i>)</p> <p>Талды-долана (<i>Crataegus pinnatifida</i> var. <i>major</i> N.E.Br., <i>Salix alba</i>)</p>
Бұталар	Петрофиттік бұталар нуы	<p>Қарағанды-қылша (<i>Ephedra equisetina</i> Bunge, <i>Caraganapumila</i> Pojark.)</p> <p>Талды-алуаншөпті-бөрікарақат (<i>Berberis sphaerocarpa</i>, <i>Carex turkestanica</i> Regel, <i>Poa nemoralis</i> L., <i>Allium fetisowii</i> Regel, <i>Salix alba</i>)</p> <p>Изенді-гүіесіңірлі-қараған (<i>Caragana pumila</i>, <i>Atraphaxis decipiens</i> Jaub. &amp; Spach, <i>Bassia prostrata</i> (L.) Beck)</p> <p>Бұталар аралас сұлыбастар (<i>Helictotrichon desertorum</i> (Less.) Pilg., <i>Juniperuspseudosabina</i> Fisch. &amp; C.A. Mey., <i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex A. Blytt)</p> <p>Бұталар (<i>Juniperuspseudosabina</i>, <i>Spiraea hypericifolia</i>, <i>Rosa acicularis</i> Lindl., <i>Berberis sphaerocarpa</i>)</p> <p>Арамшөпті-бұталар (<i>Ephedra equisetina</i>, <i>Lonicera tatarica</i>, <i>Berberis iliensis</i> Popov, <i>B. sphaerocarpa</i>, <i>Rosa beggeriana</i>, <i>Marrubiumanisodon</i> K. Koch, <i>Peganumharmala</i> L.)</p> <p>Тобылғы аралас қарағанды-бетеге (<i>Festuca valesiaca</i> Schleich. ex Gaudin, <i>Caragana pumila</i>, <i>Spiraea hypericifolia</i>)</p>
	Галофиттік бұталар	<p>Бұталар (<i>Rosa acicularis</i>, <i>Halimodendronhalodendron</i> (Pall.) Voss, <i>Berberis iliensis</i>)</p> <p>Галофиттікалуаншөпті-шеңгел (<i>Halimodendron halodendron</i>, <i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall., <i>Atriplex tatarica</i> L., <i>Suaeda heterophylla</i> Bunge ex Boiss.)</p> <p>Галофиттік бұталар (<i>Halimodendronhalodendron</i>, <i>Nitrariasibirica</i> Pall., <i>Atriplex tatarica</i>)</p>
	Өзен аңғарларындағы мезофиттік және мезоксерофиттік бұталар нуы	<p>Талды-бұталар (<i>Crataegus pinnatifida</i>, <i>Berberis sphaerocarpa</i>, <i>Ribes heterotrichum</i> C.A. Mey., <i>Rosa spinosissima</i> L., <i>Salix alba</i>)</p> <p>Арша мен раушан аралас кобрезиялы-алуаншөптер (<i>Kobresia humilis</i> (C.A. Mey. ex Trautv.) Serg., <i>Geranium albiflorum</i> Ledeb., <i>Juniperus pseudosabina</i>, <i>Rosa platyacantha</i>)</p> <p>Алуаншөпті-бетегелі-тобылғы (<i>Spiraea hypericifolia</i>, <i>Festuca valesiaca</i>, <i>Thymus pulegioides</i> subsp. <i>pannonicus</i> (All.) Kerguelen, <i>Carex praecox</i> Schreb.)</p> <p>Терек аралас талды-балғын (<i>Myricaria germanica</i>, <i>Salix rosmarinifolia</i>, <i>S. acutifolia</i> Willd., <i>Populus talassica</i>)</p> <p>Алуаншөпті-астықтұқымдасты-раушан (<i>Rosa beggeriana</i>, <i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth, <i>Dactylis glomerata</i>, <i>Poa versicolor</i> Besser, <i>Thymus pulegioides</i> subsp. <i>pannonicus</i>)</p> <p>Алуаншөпті-бұталар (<i>Prunus sogdiana</i> Vassilcz., <i>Berberis sphaerocarpa</i>, <i>Rosa spinosissima</i>, <i>Lonicera microphylla</i>, <i>Ribes heterotrichum</i>, <i>Cotoneaster melanocarpus</i>, <i>C. multiflorus</i> Bunge)</p> <p>Ағашты-бұталар (<i>Berberis sphaerocarpa</i>, <i>B. iliensis</i>, <i>Elaeagnus rhamnoides</i> (L.) A. Nelson, <i>Betula tianschanica</i>, <i>Populus laurifolia</i>, <i>Armeniaca vulgaris</i>)</p>
	Мәңгі жасыл	Жатаған аршалар ( <i>Juniperuspseudosabina</i> )



Өсімдікжабын типтері	Экологиялық-физиономиялық категориялар	Қауымдастықтардың негізгі типтері
	жатаған бұталар	Теңгежапырақты-аршалар нуы ( <i>Juniperus pseudosabina</i> , <i>Alchemilla sibirica</i> Zamelis)
		Жебірлі-бетеге шөптесін қабатынан тұратын жатаған аршалар ( <i>Juniperus pseudosabina</i> , <i>Festuca kryloviana</i> Reverd., <i>Thymus seravschanicus</i> Klokov)
		Талды-арша ( <i>Juniperus pseudosabina</i> , <i>Salix alba</i> )
Шалғындар	Биіктаудың аласаөпті альпілік шалғындары	Кобрезиялы-алуаншөптер ( <i>Alchemilla retropilosa</i> Juz., <i>Leontopodium fedtschenkoanum</i> Beauverd, <i>Aster alpinus</i> L., <i>Kobresia capillifolia</i> (Decne.) C.B. Clarke, <i>K. humilis</i> (C.A. Mey. ex Trautv.) Serg.)
		Кобрезия ( <i>Kobresia capillifolia</i> , <i>Persicaria vivipara</i> (L.) Ronse Decr., <i>Primula algida</i> Adams, <i>Festucakryloviana</i> )
		Кобрезиялы-астықтұқымдасты-алуаншөптер ( <i>Saxifraga sibirica</i> L., <i>Aster alpinus</i> , <i>Doronicum turkestanicum</i> Cavill., <i>Saussurea involucrata</i> Matsum. & Koidz., <i>Eritrichium villosum</i> (Ledeb.) Bunge, <i>Gentiana uniflora</i> Georgi, <i>Taraxacum songoricum</i> Schischk., <i>Poa alpina</i> L., <i>Kobresia macrolepis</i> Meinsh.)
	Биіктаудың орташаөпті субальпілік шалғындары	Алуаншөпті-теңгежапырақты-қоңырбас ( <i>Poa annua</i> L., <i>Alchemilla sibirica</i> , <i>Geranium albiflorum</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Trifolium repens</i> L., <i>Aegopodium alpestre</i> Ledeb., <i>Alfredia nivea</i> Kar. & Kir.)
		Астықтұқымдасты-алуаншөптер ( <i>Pilosella aurantiaca</i> (L.) F.W.Schultz & Sch.Bip., <i>Alchemilla bungei</i> Juz., <i>Trifolium lupinaster</i> L., <i>Rhaponticum carthamoides</i> (Willd.) Pjin, <i>Poa stepposa</i> , <i>Dactylis glomerata</i> )
		Астықтұқымдасты-алуаншөптер ( <i>Trifolium pratense</i> , <i>T. repens</i> , <i>T. lupinaster</i> , <i>Prunella vulgaris</i> L., <i>Trollius altaicus</i> C.A. Mey., <i>Achillea millefolium</i> , <i>Campanula glomerata</i> , <i>Dianthus kuschakewiczii</i> Regel & Schmalh., <i>Alchemilla sibirica</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Milium effusum</i> L.)
	Орташатаудың биікшөпті шалғындары	Алуаншөпті-тарғақшөп ( <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Ziziphora clinopodioides</i> Lam., <i>Sanguisorba alpina</i> Bunge, <i>Trifolium pratense</i> , <i>T. lupinaster</i> )
		Астықтұқымдасты-алуаншөптер ( <i>Achillea millefolium</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Origanum vulgare</i> L., <i>Thalictrum minus</i> L., <i>Dactylis glomerata</i> )
	Далаланған шалғындар	Бетегелі-алуаншөптер ( <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Potentilla chrysantha</i> (Zoll. & Moritz) Trevir., <i>Achillea millefolium</i> , <i>Phlomis oreophila</i> (Kar. & Kir.) Adylov, <i>Rumex confertus</i> , <i>Fragaria viridis</i> )
		Астықтұқымдасты-алуаншөптер ( <i>Poa lipskyi</i> Roshev., <i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst., <i>Festuca coelestis</i> (St.-Yves) Krecz. & Bobrov, <i>Alchemilla sibirica</i> , <i>Achillea setacea</i> Waldst. & Kit.)
		Алуаншөпті-астықтұқымдастар ( <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Pilosella aurantiaca</i> , <i>Alchemilla bungei</i> , <i>Rhaponticum carthamoides</i> , <i>Papaver nudicaule</i> L., <i>Trifolium lupinaster</i> )
	Галофиттік шалғындар	Галофиттік алуаншөптер ( <i>Stipa splendens</i> Trin., <i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fisch., <i>Salvia deserta</i> Schangin, <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall., <i>Artemisia vulgaris</i> L., <i>Trifolium hybridum</i> L., <i>Agrostis gigantea</i> Roth, <i>Achillea millefolium</i> )
		Галофиттік алуаншөпті-ажырық ( <i>Aeluropus litoralis</i> (Gouan) Parl., <i>Alhagi pseudalhagi</i> (M. Bieb.) Desv. ex B. Keller & Shap., <i>Glycyrrhiza aspera</i> , <i>Atriplex tatarica</i> )
	Жайылма (нағыз, батпақты) шалғындары	Нағыз алуаншөпті-астықтұқымдастар ( <i>Elytrigia repens</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Medicago lupulina</i> L., <i>Polygonum aviculare</i> L., <i>Plantago major</i> , <i>Cichorium intybus</i> L.)
		Алуаншөптер ( <i>Trifolium repens</i> , <i>T. fragiferum</i> L., <i>T. hybridum</i> , <i>Inularhizocephala</i> Schrenk, <i>Medicago lupulina</i> , <i>Mentha longifolia</i> (L.) L., <i>Achillea millefolium</i> , <i>A. asiatica</i> Serg.)
		Астықтұқымдасты-алуаншөптер ( <i>Nepeta nuda</i> L., <i>Verbascum orientale</i> (L.) All., <i>Trifolium pratense</i> , <i>Fragaria viridis</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Origanum vulgare</i> , <i>Elytrigia repens</i> , <i>Dactylis glomerata</i> )
Алуаншөпті-атқонақ ( <i>Phleum phleoides</i> , <i>Origanum vulgare</i> , <i>Medicago falcata</i> L.)		
Батпақты алуаншөпті-жуалы-астықтұқымдастар ( <i>Deschampsia cespitosa</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Elytrigia repens</i> , <i>Allium platyspathum</i> subsp. <i>amblyophyllum</i> (Kar. & Kir.)		

Өсімдікжабын типтері	Экологиялық-физиономиялық категориялар	Қауымдастықтардың негізгі типтері	
		N.Friesen, <i>Achillea millefolium</i> , <i>Galium turkestanicum</i> Pobed.) Алуаншөпті-қиякөлең ( <i>Carex melanostachya</i> M.Bieb. ex Willd., <i>Phlomoidea oreophila</i> , <i>Agrimonia eupatoria</i> subsp. <i>asiatica</i> (Juz.) Skalický, <i>Hypericum perforatum</i> L., <i>Mentha longifolia</i> var. <i>asiatica</i> (Boriss.) Rech.f.) Галофиттікалуаншөпті-галофиттік астықтұқымдастар ( <i>Leymus divaricatus</i> (Drobow) Tzvelev, <i>Suaeda heterophylla</i> , <i>Iris halophila</i> var. <i>sogdiana</i> (Bunge) Grubov)	
Батпақтар	Шөпті батпақтар	Қиякөлендер ( <i>Carex melanantha</i> C.A.Mey., <i>C. parva</i> Nees, <i>C. enervis</i> C.A.Mey., <i>C. canescens</i> sL.) Гигрофильді-алуаншөптер ( <i>Typha angustifolia</i> L., <i>Rumex confertus</i> , <i>Mentha longifolia</i> , <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud., <i>Persicaria bistorta</i> (L.) Samp.)	
Далалар	Шөлденген (жусанды-шымды астықтұқымдастар)	Бұталар аралас қиякөленді-жусанды-бетеге ( <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Artemisia sublessingiana</i> Krasch. ex Poljakov, <i>A. frigida</i> Willd., <i>Carex stenophylla</i> Wahlenb., <i>Spiraea hypericifolia</i> , <i>Juniperus pseudosabina</i> ) Жусанды-шырмауықты-қау ( <i>Stipa sareptana</i> Beck, <i>Convolvulus tragacanthoides</i> Turcz., <i>Artemisia sublessingiana</i> ) Жусанды-шымды астықтұқымдастар ( <i>Stipa sareptana</i> , <i>S. lessingiana</i> Trin. & Rupr., <i>S. caucasica</i> Schmalh., <i>Festuca valesiaca</i> Schleich. ex Gaudin, <i>Artemisia sublessingiana</i> ) Бұталар аралас алуаншөпті-жусанды-шымды астықтұқымдастар ( <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Koeleria macrantha</i> (Ledeb.) Schult., <i>Stipacapillata</i> L., <i>Centaurea ruthenica</i> L., <i>Achillea millefolium</i> , <i>Artemisia sublessingiana</i> , <i>Spiraea hypericifolia</i> L., <i>Rosa platyacantha</i> )	
	Нағыз (шымды астықтұқымдастар)	Алуаншөпті-шымды астықтұқымдастар ( <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Helictotrichon desertorum</i> , <i>Stipa zaleskii</i> Wilensky, <i>S. capillata</i> , <i>Koeleria micrathera</i> (Desv.) Griseb. (PlantList) <i>Phleum phleoides</i> , <i>Galium verum</i> L., <i>Thalictrum minus</i> ) Бұталар аралас алуаншөпті-шымды астықтұқымдастар ( <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa caucasica</i> Schmalh., <i>Sedum hybridum</i> L., <i>Ziziphora clinopodioides</i> , <i>Patrinia intermedia</i> (Hornem.) Roem. & Schult., <i>Spiraea hypericifolia</i> , <i>Cerasustianshanica</i> , <i>Cotoneaster melanocarpus</i> , <i>Lonicera microphylla</i> )	
	Шалғынды (байалуаншөпті-шымды астықтұқымдастар)	Байалуаншөпті-шымды астықтұқымдастар ( <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>Bothriochloa ischaemum</i> (L.) Keng, <i>Melilotus officinalis</i> , <i>Trifolium hybridum</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Salvia deserta</i> , <i>Potentilla neglecta</i> Baumg., <i>Elytrigiarrepens</i> , <i>Phleum pretense</i> L.) Байалуаншөпті-қау ( <i>Stipa lessingiana</i> Trin. & Rupr., <i>Poa stepposa</i> , <i>Ligusticum discolor</i> Ledeb., <i>Peucedanum morisonii</i> Besser, <i>Achillea millefolium</i> ) Алуаншөпті-бетеге ( <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Helictotrichon desertorum</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Phlomoidea tuberosa</i> (L.) Moench)	
	Биік таудың далалары	Бетеге ( <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Helictotrichon tianschanicum</i> (Roshev.) Henrard, <i>H. desertorum</i> (Less.) Pilg., <i>Poa stepposa</i> ) Алуаншөпті-астықтұқымдастар ( <i>Festuca kryloviana</i> , <i>Phleum phleoides</i> , <i>Helictotrichon desertorum</i> , <i>Poa stepposa</i> , <i>Thymus seravschanicus</i> , <i>Artemisia aschurbajewii</i> C.Winkl.)	
	Шөлдер	Галофиттік жартылай бұталы	Тасбұйырғынды-жусанды-баялышсоран ( <i>Salsola arbusculiformis</i> Drobow, <i>Artemisia heptapotamica</i> Poljakov, <i>Nanophyton erinaceum</i> (Pall.) Bunge) Жусанды-тасбұйырғын ( <i>Nanophyton erinaceum</i> , <i>Artemisia sublessingiana</i> , <i>Artemisia heptapotamica</i> , <i>Salsola orientalis</i> S.G. Gmel.)
		Псаммофиттік бұталы	Селеулі-псаммофитбұталар ( <i>Calligonum caput-medusae</i> Schrenk, <i>Astragalus paucijugus</i> Schrenk, <i>Haloxylon persicum</i> Bunge, <i>Stipagrostis pennata</i> (Trin.) De Winter) Қаулы-псаммофитбұталар ( <i>Haloxylon persicum</i> , <i>Krascheninnikovia ceratoides</i> (L.) Gueldenst., <i>Atraphaxis spinosa</i> K.)

Таудың ұсақ жапырақты ормандар белдеуі Жетісу Алатауында 1400 м-ден 1700 м-ге дейінгі биіктік диапазонында кең таралған [2]. Солтүстік макробеткейде алма ағашы (*Malus sieversii*) ормандары осы белдеуде кездеседі, әрі тұтас алмаағашы формацияларын қалыптастырады. Сиверс алмасы (*Malus sieversii*) биіктік диапазоны 800-2000 (2500) м аралықтарында кездеседі (Джангалиев, 1977; Огарь, 2018) [39]. Алма қауымдастықтарының негізгі бөлігі Тополевка мен Лепсі тауаралық алқаптардың беткейлерінде шоғырланған [40].

Алма ағашы ормандары үш жікқабаттан тұрады. Ағашқұрамда алмадан бөлек терек түрлері (*Populus nigra* L., *Populus tremula* L.), қотыр қайың (*Betula pendula* Roth), кәдімгі мойыл (*Prunus padus*) жиі, кейде шренк шыршасы (*Picea schrenkiana*) кездеседі. Алма қауымдастықтарының құрамында кей-кейде Недзвецкий алмасы (*Malus niedzwetzkyana* Dieck ex Koehne) өседі [41]. Бұталар жікқабатын әдетте ұсақжапырақты үшқат (*Lonicera microphylla*), құбашілік (*Salix cinerea*), алматы доланасы (*Crataegus almaatensis* Rojark.), жалпақтікен раушан (*Rosa platyacantha*), кәдімгі таңқурай (*Rubus idaeus*), бөріқарақат (*Berberis heteropoda*), ішдәрі қаражеміс (*Rhamnus cathartica* L.) құрайды. Шөптесіндер жікқабатына шалғындық түрлерден кәдімгі тарғақшөп (*Dactylis glomerata*), салалы шебершөп (*Brachypodium pinnatum*), биік суоты (*Agrostis gigantea*), жатаған бидайық (*Elymus repens*), шалғын қоңырбасы (*Poa pratensis*); биікшөптерден іріжапырақ сарыаңдыз (*Ligularia macrophylla* (Ledeb.) DC.), аласа аюбалдырған (*Angelica archangelica* subsp. *decurrens* (Ledeb.) Kuvaev), биік андыз (*Inula helenium* L.); алуаншөптерден ащы жусан (*Artemisia absinthium* L.), қызылбас беде (*Trifolium pratense*), кәдімгі сусынтамыр (*Cichorium intybus*), кәдімгі мыңжапырақ (*Achillea millefolium*), шайшөп (*Hypericum perforatum*), дәрілік түймедағы (*Matricaria chamomilla* L.), орман бүлдіргені (*Fragaria vesca* L.), атқұлақ қымыздық (*Rumex confertus*), шаянмойын таран (*Persicaria bistorta*); ерте гүлдейтіндерден жатаған сарғалдақ (*Ranunculus repens*), көкшіл желайдар (*Anemone caerulea* DC.), жұмсақ балшытыр (*Pulmonaria mollis*), ұзынжапырақ стахиопсис (*Stachyopsis oblongata* (Schrenk) Popov & Vved.), имек түтікгүл (*Solenanthes circinatus* Ledeb.), лебедур айдаршөбі (*Corydalis ledebouriana*) және т.б. маңызы ерекше. Жікқабаттардан тыс сібір ушырмауығы (*Atragea sibirica* L.) кездеседі.

*Malus sieversii* және *Malus niedzwetzkyana* Қазақстанның Қызыл кітабына (2014) енгізілген [42], олардың саны азаю үрдісіне ие, жойылып кету қаупі жоғары. Жабайы жемісті ормандардың қазіргі жағдайы қанағаттанарлықсыз [43]. Ормандардың деградациялануының негізгі факторлары: ресурстарды басқарудың тиімсіздігі, экожүйелердің шаруашылық әрекеттерден бұзылуы, жабайы алманы мәдени ағаштармен будандастыру, табиғи қауымдастықтағы алма ағаштарын жерсіндірілген түрлермен ығыстырып шығару және т.б.

Жайылма ормандары өзен аңғарларына тән. Тянь-Шань қайыңынан (*Betula tianschanica*) тұратын галереялы ормандар солтүстік макробеткейдің орташа тауларындағы өзен аңғарларында (Лепсі, Орта Тентек) жақсы дамыған (Димеева және т.б., 2018). Ағаш жікқабатының құрамында Шренк шыршасы мен ұшталық тал (*Salix triandra* L.), ал бұталар жікқабатында – кирилов талы (*Salix kirilowiana* Stschegl.), түлкіқұйрық балғын (*Myricaria germanica*), нәзікгүлді үшқат (*Lonicera stanantha* Rojark.) кездеседі. Шөптесін жікқабатында астықтұқымдастар – көде селдірек (*Deschampsia cespitosa*), тарғақшөп (*Dactylis glomerata*), жатаған бидайық (*Elymus repens*) басымдау; қияқөлең (*Carex praecox*) мен алуаншөптер – мыңжапырақ (*Achillea millefolium*), маралоты (*Thalictrum minus*), түркістан қызылбояуы (*Galium turkestanicum*), жасыл бүлдірген (*Fragaria viridis*), атқұлақ қымыздық (*Rumex confertus*), таулық фломис (*Phlomoidea oreophila*), саргүл қазтабан (*Potentilla chrysantha*) өседі. Оңтүстік макробеткейдегі тянь-шань қайыңының галереялы ормандары Өсек өзенінің аңғарында жақсы дамыған.

Тау өзендерінің жайылмаларында ағаш түрлерінен *Populus laurifolia* (лавр жапырақты терек) және *P. talassica* (талас терегі) таралған. *Populus talassica* өзендердің төменгі ағысында көбірек, ал *Populus laurifolia* шатқалдардың түбін бойлай қылқан жапырақты ормандар белдеуіне дейін көтеріледі. Лавр жапырақты терек қауымдастықтары Өсек және Теректі өзендерінің аңғарларында басым келеді. Қайың ормандары (*Betula pendula*) Көксу, Теректі және Лепсі өзендерінің алқаптарында кездеседі [44].

Бұталы өсімдікжабын типіне петрофиттік бұталар мен өзен аңғарларындағы мезофиттік және мезоксерофиттік бұталар нуы, мәңгі жасыл жатаған бұталар ассоциациялары және галофиттік бұталар қауымдастықтары жатады.

Петрофиттік бұталар әдетте дала белдеуіндегі шатқал-сайлардың беткейлеріне тән, түрлі биіктіктердегі тастақты және тастақты-шағылды топырақтарда жиі кездеседі. Мұндай бұталар формациялары оңтүстік макробеткейде едәуір аумақты алып жатыр, ал солтүстік макробеткейде фрагментарлық сипатқа ие. Өсімдік ассоциациялары бұталардың – *Rosa*, *Spiraea*, *Cotoneaster*, *Atraphaxis*, *Lonicera*, *Ephedra*, *Cerasus*, *Berberis* түрлерінен қалыптасады [4]. Петрофиттік бұталар құрамында қарағанды-кылша (*Ephedra equisetina*, *Caragana pumila*); қайың, бөріқарақат және бұталар аралас талдар нуы (*Salix alba*, *Berberis sphaerocarpa*); алуаншөпті-қиякөленді-астықтұқымдастар жабынына ие бұталар нуы (*Rosa platyacantha*, *Carex turkestanica*); изенді-түйесіңірлі-қараған (*Caragana pumila*, *Atraphaxis decipiens*, *Bassia prostrata*); бөріқарақаттар нуы (*Berberis sphaerocarpa*), бұталы-тал қаулары (*Salix alba*, *Berberis sphaerocarpa*, *Carex turkestanica* және т.б.); бұталар аралас сұлыбас (*Helictotrichon desertorum*, *Juniperus pseudosabina*, *Cotoneaster melanocarpus*); тал араалас алуаншөпті-петрофиттік бұталар (*Salix alba*, *Juniperus pseudosabina*) және т.б. қауымдастықтар жиі кездеседі.

Мезофиттік және мезоксерофиттік бұталар нуы Көктал, Кескентерек, Кіші Басқан, Лепсі, Тентек және т.б. өзендердің аңғарларында кең таралған. Қауымдастықтардың басты доминанттары – долана (*Crataegus pinnatifida*), қисық қайың (*Betula procurva*), түлкіқұйрық балғын (*Myricaria germanica*), шайқурай тобылғы (*Spiraea hypericifolia*), иран кобрезиясы (*Kobresia humilis*), жалпақтікен раушан (*Rosa platyacantha*), шөл сұлыбасы (*Helictotrichon desertorum*). Шөптесіндер жікқабатына шымды астықтұқымдастардан дала қоңырбасы (*Poa versicolor*), бетеге (*Festuca valesiaca*), ильин қауы (*Stipa zalesskii*); алуаншөптерден мыңжапырақ (*Achillea millefolium*), ақгүлді қазтамақ (*Geranium albiflorum*) және т.б. тән. Олармен қатар *Spiraea hypericifolia* және *Poa versicolor* жиі өседі. Оңтүстік макробеткейдің Қорғас, Бурақожыр, Тышқан және т.б. өзендерінің тастақты алқаптарында ең көп таралған бұта – итшомырт шырғанағы (*Elaeagnus rhamnoides*). Мұндай қалың тікенекті бұталарды шөлден бастап субальпілік белдеуге дейінгі кеңістікте кездестіруге болады. Кейінгісінде шырғанақ *Picea schrenkiana*-мен қатар өседі. Басқа бұталардан жайылма алқаптарына әдетте раушан түрлері (*Rosa beggeriana*, *Rosa alberti*, *Rosa xanthina*), ішдәрі қаражеміс (*Rhamnus*

*cathartica* L.), татар үшқаты (*Lonicera tatarica*), түрліаяқ бөріқарақат (*Berberis heteropoda*) тән, төменгі ағыстарда іле бөріқарақаты (*Berberis iliensis*) жақсы өседі [44].

Мәңгіжасыл жатаған өсімдік қауымдастықтары Сарқан, Көксу және Бурақожыр өзендерінің бойындағы тау беткейлерін бойлай таралған. Мұндай типке негізінен *Juniperus* (арша) туысынан тұратын ассоциациялар жатады. Арша формацияларының құрамында қара арша (*Juniperus pseudosabina*), қызыл арша (*Juniperus sabina*) және сібір аршасы (*Juniperus sibirica*) басым. Шөпқұрам жікқабатында шымдыастықтұқымдастар – дала қоңырбасы (*Poa versicolor*), дала атқонағы (*Phleum phleoides*), биік бетеге (*Festuca coelestis*); алуаншөптер – сібір теңгежапырақ (*Alchemilla sibirica*) пен шалғын қазтамақ (*Geranium pratense*) өседі, бұталар (*Rosa acicularis*, *R. platyacantha*, *Lonicera tatarica*, *Cerasus tianschanica*, *Berberis sphaerocarpa*) мен жартылай бұташық – зерашан жебірі (*Thymus seravschanicus*) де жақсы дамыған.

Галофиттік бұталар бұлақтардың бойында, тау жоталарының төменгі бөліктерінде, тауаралық аңғарларда, оңтүстік макробеткейдің Ортатау аласатауы мен Көкбастау алқаптарында кездеседі. Бұталар ассоциациясының басты бөлігінде ақ шеңгел (*Halimodendron halodendron*), іле бөріқарақаты (*Berberis iliensis*), сібір ақтікені (*Nitraria sibirica*), тікенді раушан (*Rosa acicularis*) түрлері доминант келеді.

Шалғынның өсімдікжабыны тауалды шөлдері мен аласа таулардан бастау алып, субальпілік және альпілік белдеуге дейінгі ауқымды биіктік диапазонын алып жатыр. Биіктаудың аласашөпті альпілік және орташашөпті субальпілік шалғындары (2800-3300 м) [2], әдетте фрагменттер түрінде тастақты беткейлердің аралықтарында, тау жоталарының шыңдары мен құздарының еңістеу беткейлерінде шашыраңқы таралған.

Альпілік белдеудегі еңіс беткейлер мен мореналық шөгінділер үстінде кобрезия (*Kobresia capillifolia*) шалғындары жақсы дамыған. Бұл шалғындардың құрамында аз мөлшерде альпа маралоты (*Thalictrum alpinum* L.), мықыр таран (*Persicaria vivipara*), қрылов бетегесі (*Festuca kryloviana*), суық қазтабан (*Potentilla gelida*), жалаңсабақ көкнәр (*Papaver nudicaule*) және т.б. кездеседі. Тастақты беткейлер мен қорымдық беткейлерден тұратын альпілік және нивальдік белдеулердің шекарасында кобрезиялы-астықтұқымдасты-алуаншөп шалғындары қалыптасады. Қауымдастықтар құрамында жіңішке кобрезия (*Kobresia macrolepis*), альпа

қоңырбасы (*Poa alpina*), суық көкгүл (*Gentiana algida* Pall.), сібір тасжарғаны (*Saxifraga sibirica*), альпа астрасы (*Aster alpinus*), түркістан темекішөбі (*Doronicum turkestanicum*), түктесін естек (*Eritrichium villosum*), тау майдажелегі (*Erigeron oreades* (Schrenk) Fisch. & C. A. Mey.), жиекті таугүл (*Swertia marginata* Schrenk), қатпарлы соссюрея (*Saussurea involucreta*), крылов көкгүлі (*Gentiana uniflora*), жоңғар бақбағы (*Taraxacum songoricum*), астықжапырақ сылдыршөп (*Silene graminifolia* Oth), қысқа күлтелі желімсабақ (*Gastrolychnis brachypetala* Tolm. & Kozuh.) және т.б. кездеседі. Криофиттік аласашөпті шалғындар (*Festuca kryloviana*, *Viola altaica* Ker Gawl. (алтай шегіргүлі), *Primula algida* (суық аққодал), *Persicaria vivipara*, *Poa alpina*) биік таудың далаларымен (*Festuca valesiaca*, *Helictotrichon tianschanicum* (тяньшань сұлыбасы), *Poa versicolor*) және тастақты шөгінділердің үстіндегі өсімдік топтарымен (*Dracocephalum imberbe* Bunge (сақалсыз жыланбас), *Primula algida* (суық аққодал), *Geranium saxatile* Kar. & Kir. (жартас қазтамақ), *Trisetum altaicum* Roshev., *T. spicatum* (L.) K. Richt. (алтай үшқылтаны), *Festuca alata* (St.-Yves) Roshev. (алатау бетегесі), *Saussurea glacialis* Herder (мұздақ соссюрея), *Rhodiola coccinea* (Royle) Boriss. (алқызыл семізот), *Potentilla biflora* Willd. ex Schldl. (қосгүлді қазтабан), *Trollius altaicus* (алтай күнгелдісі), *Persicaria vivipara*) қатар таралған [3, 4].

Оңтүстік макробеткейде кобрезиялы-алуаншөп қауымдастықтары таралған. Ценоздың түрлік құрамында жатықтүк теңгежапырақ (*Alchemilla retropilosa*), федченко эдельвейсі (*Leontopodium fedtschenkoanum*), альпа астрасы (*Aster alpinus*), кобрезия түрлері (*Kobresia capillifolia*, *K. Humilis*) басымдау.

Биіктаудың орташашөпті субальпілік шалғындарының өсімдікжабыны әдетте астықтұқымдасты-алуаншөп шалғындарынан тұрады. Қауымдастықтардың түрлік құрамында жиренқызыл саршатыр (*Pilosella aurantiacum*), бунге теңгежапырағы (*Alchemilla bungei*), мақсыр рапонтикум (*Stemmacantha carthamoides*), дала қоңырбасы (*Poa stepposa*), тарғақшөп (*Dactylis glomerata*), жалаңсабақ көкнәр (*Papaver nudicaule*), бесжапырақты беде (*Trifolium lupinaster*), жалған бөденешөп (*Veronica spuria*), мыңжапырақ (*Achillea millefolium*), дәрі бәрпі (*Aconitum anthoroideum*), қиғаш жуа (*Allium obliquum*) басымдау [32]. Шалғындар кей жерлерде жатаған арша (*Juniperus pseudosabina*) қауымдастықтарымен

ауысып отырады. Солтүстік макробеткейде теңгежапырақ (*Alchemilla bungei*, *A. retropilosa*) және қазтамақ (*Geranium saxatile*, *G. albiflorum*) шалғындары жақсы дамыған. Аз мөлшерде теңгежапырақ қауымдастықтарында ұзынтамыр қандыгүл (*Pedicularis dolichorrhiza* Schrenk), сақалсыз жыланбас (*Dracocephalum imberbe*), альпа астрагалы (*Astragalus alpinus*), мықыр таран (*Persicaria vivipara*) кездеседі. Шалғын қауымдастықтарында астықтұқымдастардан дала атқонағы (*Phleum phleoides*) мен шалғын түлкіқұйрығының (*Alopecurus pratensis*) және түкті сұлыбастың (*Helictotrichon pubescens*) маңызы ерекше [8].

Оңтүстік макробеткейдің шалғындары әдетте далалар, жатаған арша нулары және құздар мен тасты қорымдардағы сирек өсімдік топтастықтарымен араласа таралады. Шалғындар теңгежапырақ, теңгежапырақты-қоңырбас (*Poa annua* (жылдық қоңырбас), *Alchemilla sibirica*, *Geranium albiflorum* (ақгүлді қазтамақ), *Trifolium repens* (ақ беде), *Urtica dioica* L. (қосүйлі қалақай), *Ranunculus grandifolius* C.A. Mey. (ірі жапырақ сарғалдақ), *Aegopodium alpestre* (альпалық бежір), *Alfredia nivea* (қаршыл емтікен), *Achillea millefolium*) және астықтұқымдасты-алуаншөп (*Alchemilla sibirica*, *Geranium collinum*, *G. albiflorum*, *Potentilla gelida*, *Alopecurus pratensis*, *Poa pratensis*) қауымдастықтарымен ұласып кетеді [6].

Орташатаудың биікшөпті шалғындары негізінен солтүстік беткейлерде шырша ормандары және бұталар (*Lonicera* және т.б.) массивтерімен, ал оңтүстік беткей экспозицияларында арша түрлерімен (*Juniperus pseudosabina*, *J. sabina*, *J. sibirica*) араласа өседі [45]. Шалғын өсімдікжабынының түрлік құрамы теңіз деңгейінің биіктігіне байланысты өзгеріп отырады. Жиі кездесетін түрлер қатарына илік таран (*Aconogonon coriarium* (Grig.) Sojak), мыңжапырақ, тарғақшөп, түймешетен (*Tanacetum vulgare*), орта тасшүйгін (*Patrinia intermedia*), альпа шелнасы (*Sanguisorba alpina*), беде түрлері (*Trifolium pratense*, *T. lupinaster*), түркістан қызылбояуы (*Galium turkestanicum*) жатады. Мақсыр рапонтикум (*Rhaponticum carthamoides*), қиғаш жуа (*Allium obliquum*), кәдімгі сарыраушан (*Solidago virgaurea*), тяньшань көкгүлі (*Gentiana tianschanica* Rupr. ex Kusn.) сынды түрлер субальпілік белдеуге дейін көтеріледі. Тасты телімдерде бозкілем (*Sedum hybridum*) мен киікоты (*Ziziphora clinopodioides*) молырақ. Иваншәй (*Chamaenerion angustifolium*) жақсы ылғалданған беткейлерге тән.

Далаланған шалғындар аласатаулы белдеуде Лепсі өзенінің жоғарғы жайылмауесті текшелерінде зерттелді. Мұндағы астықтұқымдасты-алуаншөпті (*Bromus inermis* (қылта-нақсыз арпабас), *Leymus multicaulis* (Kar. & Kir.) Tzvelev (сарпы қияқ), *Vicia cracca* L. (тышқан сиыржоңышқа), *Fragaria viridis* (жасыл бүлдірген), *Medicago falcata* (сарбас жоңышқа), *Verbascum orientale* (шығыс аюқұлақ), *Stipa capillata*, *Festuca valesiaca* және т.б.) далаланған шалғындардың құрамында сирек кездесетін түр – таушымылдык (*Paeonia anomala* L.) жиі кездеседі. Орташатаулы белдеудегі Тентек өзенінің аңғарларының өсімдік қауымдастықтары әдетте *Festuca valesiaca*, *Phleum phleoides* (дала атқонағы), *Achillea millefolium*, *Rumex confertus* (атқұлақ қымыздық), *Phlomis oreophila* (таулық фломи), *Potentilla asiatica* (азия қазтабаны), *Gentiana tianschanica* (тянь-шань көкгүлі), *Artemisia dracunculus* L. (шыралжын жусан), *Aconitum anthoroideum* (дәрі бәрпі) және т.б. тұрады. Субальпілік белдеудің далаланған шалғындарының құрамында дала астықтұқымдастарымен қатар алуаншөптер (*Alchemilla sibirica*, *Achillea setacea*, *Poa lipskyi*, *Phleum phleoides*, *Festuca coelestis*) де кездеседі [8].

Галофиттік шалғындар оңтүстік макробеткейдің тауалды шөлдері белдеуіндегі жер бедерінің ойпаңдары мен бұлақ бастауларында таралған. Биік астықтұқымдастар (*Stipa splendens* (ақ ший), *Phragmites australis* (кәдімгі қамыс)) мен алуаншөптерден (*Vicia cracca* (тышқан сиыржоңышқа), *Inula caspica* F.K.Blum ex Ledeb. (каспий андызы), *Trifolium repens* (ақ беде) және т.б.) тұратын шалғындар грунт суларына жақын орындарда тіркелді. Бұлақ бастауларына жақын жерлерде шөпқұрамда мия түрлері (*Glycyrrhiza aspera*, *G. uralensis*), галофиттік астықтұқымдастар (*Aeluropus littoralis* (сортаң ажырық), *Leymus divaricatus* (шашақты қияқ), *L. angustus* (Trin.) Pilg.(жіңішке қияқ)), сораң түрлері (*Suaeda heterophylla*, *S. microphylla*, *Atriplex tatarica*) мен галофиттік алуаншөптер (*Saussurea amara* (L.) DC., *Artemisia schrenkiana* Ledeb.) басым келетін қалың галофиттік шалғындар таралған [6].

Жайылма шалғындары (нағыз, батпақты) аласатаулардағы дала белдеуінің жоғарғы нүктелеріндегі тауаралық ойыстар мен өзен аңғарларын бойлай таралған. Лепсі тауаралық алқабындағы алуаншөпті-астықтұқымдас нағыз шалғындардың біраз бөлігі шабындық мақса-

тында пайдаланылады [8]. Қауымдастықтар құрамында астықтұқымдастардан *Elytrigia repens* (жатаған бидайық), *Phleum phleoides*, *Poa pratensis* басым; алуаншөптерден *Medicago falcata*, *Agrimonia asiatica* Juz. (азия ошағаны), *Origanum vulgare* (кәдімгі жұпаргүл), *Hypericum perforatum*, *Achillea millefolium* және т.б. араласа өседі. Лепсі өзені аңғарындағы батпақты шалғындардың негізін қара масақты қиякөлең (*Carex melanostachya*) құрайды, қауымдастықтардың құрамында *Lavatera thuringiaca* L. (тюринген үлбірек), *Urtica dioica* (қосүйлі қалақай), *Filipendula ulmaria* (шегіршінжапырақ үркегүл), *Nepeta nuda* (мадияр көкжалбызы), *Geranium albiflorum* (ақгүлді қазтамақ), *Calamagrostis epigeios* (құрғақ айрауық), *Potentilla inclinata* Vill. (ақша қазтабан), *Poa pratensis* (шалғын қоңырбасы), *Verbascum orientale* (шығыс аюқұлақ), *Inula helenium* (биік андыз), *Delphinium cheilanthum* Fisch. ex DC. (ерінгүл тегеурінгүл) кездеседі. Өсек өзенінің батпақты шалғындарын мезогигрофильдік түрлер – атқұлақ қымыздық (*Rumex confertus*), нарпоз жалбыз (*Mentha longifolia*), кәдімгі қамыс (*Phragmites australis*), шаянмойын таран (*Persicaria bistorta*) қалыптастырады. Мұндағы нағыз шалғындар алуаншөпті-астықтұқымдастар (*Elytrigia repens*, *Calamagrostis epigeios*, *Medicago lupulina*, *Polygonum aviculare*, *Plantago major*, *Cichorium intybus*) қауымдастықтарынан тұрады.

Батпақты тип қауымдастықтары сирек кездеседі, әрі түрлі биіктік белдеулерінде шашыраңқы таралған. Биіктаулы аймақта жер бедерінің теріс элементтеріне тән, кішігірім ойыстарда қиякөленді батпақтар (*Carex melanantha*, *C.parva*, *C.enervis*, *C.canescens*) жақсы дамыған. Шалшықтанған учаскелерде астықтұқымдастардан *Poa attenuata* Trin., *P.alpigena* Lindm., *Festuca rubra* L., *Trisetum spicatum* (L.) K.Richt., *Phleum alpinum* L., *Alopecurus alpinus* Vill. көбірек, сонымен қатар қиякөлең туысы (*Carex paralella* (Laest.) Sommerf., *C. Tristis* M.Bieb., *Luzula pallescens* Sw., *L. spicata* (L.) DC.) басым.

Орташатаулар мен аласатаулардағы шөпті батпақтар өзендер жағалауы және жылғалар бойында фрагменттер түрінде таралған, түрлік құрамы мезогигрофильдік өсімдіктер – аил қоға (*Typha angustifolia*), атқұлақ қымыздық (*Rumex confertus*), нарпоз жалбыз (*Mentha longifolia*), кәдімгі қамыс (*Phragmites australis*) және шаянмойын тараннан (*Persicaria bistorta*) тұрады.

Өсімдікжабынның далалық типі шөлденген (800-1000 м), нағыз (1000-1200 м) және шалғынды (1200-1400 м) далалар биіктік белдеулерінен тұрады [46]. Дала қауымдастықтары альпілік және субальпілік белдеулерде де таралған. Солтүстік макробеткейде биіктаудың далалары оңтүстік беткей экспозицияларына тән. Өсімдікжабынның далалық типі оңтүстік макробеткейде субальпілік белдеудің далалар және жатаған аршалар (2200-2800 м) белдемшелерінде жақсы дамығын, ал алпілік белдеуде криофиттік шалғындар мен далалар (2800-3500 м) белдемшелерінде басым келеді [6].

Жусандар мен эфемероидтардан тұратын шөлденген далалар солтүстік макробеткейде теңіз деңгейінен 700 м-ден 1260 м аралығында жиі таралған. Дала алуаншөптері сирек байқалады. Қапал мен Арасан аралығындағы ұлан-байтақ тауаралық атырапта таралған шөлденген далалардың басты эдификаторы – қылтаң селеу (*Stipa capillata*), бетеге (*Festuca valesiaca*) субдоминанттық маңызға ие, келлерияның (*Koeleria macrantha*) үлесі аздау [3]. Жусанды-шымды астықтұқымдастардан тұратын шөлденген далалардың құрамында бұталар аралас қиякөленді-жусанды-бетеге (*Festuca valesiaca*, *Artemisia sublessingiana*, *A. frigida*, *Carex stenophylloides*, *Spiraea hypericifolia*, *Juniperus pseudosabina*), бұталар аралас алуаншөпті-жусанды-шымды астықтұқымдастар (*Festuca valesiaca*, *Koeleria macrantha*, *Stipa capillata*, *Centaurea ruthenica*, *Achillea millefolium*, *Artemisia sublessingiana*, *Spiraea hypericifolia*, *Rosa platyacantha*), жусанды-шымды астықтұқымдастар (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *S. caucasica*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia sublessingiana*), жусанды-шырмауықты-қылтаң селеу (*Stipa sareptana*, *Convolvulus tragacanthoides*, *Artemisia sublessingiana*), қауымдастықтары кездеседі. Оңтүстік макробеткейде шөлденген далалардың жоғарғы шекарасы 1500 м-ге дейін жетеді. Қылтаң селеу мен бетеге басым, жусан түрлерінен *Artemisia sublessingiana* жетекші.

Нағыз далалар теңіз деңгейінен 1000-1400 м аралығына сәйкес келеді. Алуаншөпті-шымды астықтұқымдасты нағыз далаларда *Stipa capillata*, *S. lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*; алуаншөптерден – *Salvia stepposa*, *Altea nudiflora* басымдылыққа ие, ал бұталардан *Spiraea*, *Atraphaxis*, *Rosa*, *Cotoneaster* туыстары кездеседі. Солтүстік макробеткейде экологиялық орта жағдайына байланысты түрлі шымды астықтұқымдастар

басым келеді. Ылғалдылығы салыстырмалы жоғары солтүстік-батыс және солтүстік-шығыс экспозицияларда бетеге, келлерия және дала мен шалғын алуаншөптерінің қатысуымен қылтаң селеу (*Stipa capillata*) доминанттық сипатқа ие; ал ылғалдылығы аздау оңтүстік-шығыс және оңтүстік-батыс беткейлерде дала астықтұқымдастары мен петрофиттік алуаншөптерден тұратын бетеге (*Festuca valesiaca*) қауымдастықтары өз үстемдігін сақтаған.

Оңтүстік макробеткей салыстырмалы түрде аридтік сипатқа ие, нағыз далалар фрагменттер түрінде ғана кездеседі, бұл климаттың құрғақтығы мен тауалды жазықтарының интенсивті жырттылуымен байланысты.

Шалғынды далалар белдеуі 1100 м-ден 1500 м аралығында таралған. Тіршілік ортасының экологиялық жағдайына байланысты шөпқұрамда даланың астықтұқымдастары мен алуаншөптері басымдыққа ие, шалғынның алуаншөптері мен астықтұқымдастарының да саны елеулі. Өтпелі қауымдастықтар – далаланған шалғындар да жиі байқалады. Шалғынды дала қауымдастықтары шалғын мен дала өсімдіктерін (*Poa stepposa*, *Phleum phleoides*, *Dactylis glomerata*, *Festuca valesiaca*, *Stipa zalesskii*), сондай-ақ *Thalictrum*, *Hedysarum*, *Galium*, *Medicago* туыстарының түрлерін біріктіреді. Шалғынды дала фитоценоздарының түрлік құрамында әдетте *Stipa capillata*, *Bothriochloa ischaemum*, *Salvia deserta*, *Melilotus officinalis*, *Trifolium hybridum*, *Potentilla neglecta*, *Achillea millefolium*, *Elytrigia repens*, *Phleum pretense* кездеседі. Байалуаншөпті-қау (*Stipa lessingiana*, *Poa stepposa*, *Ligusticum discolor*, *Peucedanum morisonii*, *Achillea millefolium*) және алуаншөпті-бетеге (*Festuca valesiaca*, *Helictotrichon desertorum*, *Achillea millefolium*, *Plantago lanceolata*, *Phlomis tuberosa*) шалғынды далалары да кең таралған.

Биіктау далалары бетеге (*Festuca valesiaca*, *Helictotrichon tianschanicum*, *H. desertorum*, *Poa stepposa*) және алуаншөпті-астықтұқымдастар (*Festuca kryloviana*, *Phleum phleoides*, *Helictotrichon desertorum*, *Poa stepposa*, *Thymus seravschanicus*, *Artemisia aschurbajewii*) қауымдастықтарының басым болуымен сипатталады. Оңтүстік макробеткейдің субальпілік белдеуіндегі бетеге далалары (*Festuca valesiaca*, *Helictotrichon tianschanicum*, *H. desertorum*, *Poa stepposa*) орташөпті шалғындар (*Alchemilla sibirica*, *Geranium collinum*, *G. albiflorum*, *Potentilla gelida*, *Alopecurus pratensis*, *Poa pratensis*) және жатаған арша нуларымен

(*Juniperus pseudosabina*) қатар таралған. Шағылды-тастақты құламалы беткейлердің бетін жусанды-сұлыбас (*Helictotrichon desertorum*, *Artemisia santolinifolia*) және бетегелі-жусан (*Artemisia aschurbajewii*, *Festuca kryloviana*) қауымдастықтары алып жатыр. Бурақожыр өзенінің жоғары ағысындағы биіктау далаларында даланың астықтұқымдастары – крылов бетегесі (*Festuca kryloviana*) мен шөл сұлыбасы (*Helictotrichon desertorum*) басымырақ. Альпілік белдеудің биіктау далалары кобрезиялы (*Kobresia capillifolia*) және криофиттік аласашөпті шалғындармен (*Persicaria vivipara*, *Primula algida*, *Festuca kryloviana*) қатар кездесетін даланың астықтұқымдастарынан (*Festuca valesiaca*, *Poa stepposa*, *Helictotrichon tianschanicum*) тұрады [3].

Шөл типінің қауымдастықтары оңтүстік макробеткейдің тауалды аймақтарында таралған.

Галофиттік бұталы және галофиттік жартылай бұташықты шөлдер шағылды және тастақты беткейлерге тән. Галофиттік жартылай бұта баялыш сораң (*Salsola arbusculiformis*) қауымдастықтары оңтүстік экспозиция беткейлерінде жиі өседі. Ценоздың түрлік құрамында: *Artemisia heptapotamica*, *Nanophyton erinaceum*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Stipa caucasica*, *Salsola orientalis* кездеседі. Баялыш қауымдастықтары тас бұйырғын (*Nanophyton erinaceum*) және сексеуіл (*Haloxylon aphyllum*) фитоценоздарымен қатар кездеседі. Псаммофиттік бұта шөлдері жіңішке жолақша түрінде оңтүстік жотаның сілемдерінде Үлкен және Кіші Қалқан тауларының аралықтарында таралған. Әлемге әйгілі Айғайқұм да осында орналасқан. Қауымдастықтардың түрлік құрамында жүзгін медуза (*Calligonum caput-medusae*), түйесүйек астрагал (*Astragalus paucijugus*), ақ сексеуіл (*Haloxylon persicum*), ақ селеу (*Stipagrostis pennata*), теріскен (*Krascheninnikovia ceratoides*), тікенді түйесіңір (*Atraphaxis spinosa*), қылша (*Ephedra przewalskii* Stapf), тікенекті бозтіккен (*Acanthophyllum pungens* Bunge) Boiss.), құм құмаршық (*Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq.) көбірек кездеседі.

## Қорытынды

Жетісу Алатауы солтүстік макробеткейінің өсімдікжабынын зерттеу жұмыстары 2015 жылы 37 маңызды учаскені қамтыды, ал 2018-2019 жылдары әртүрлі феноклиматтық маусымдарда 83 орында жүргізілді. Оңтүстік макробеткейді зерттеу экспедициялары 2014-2015 жылдары 100-ден аса маңызды учаскелерде ұйымдастырылды. Зерттеу нәтижелері бойынша Жетісу Алатауы өсімдікжабынының өзіндік ерекшеліктері мен биіктік белдеулік заңдылықтары, сондай-ақ сирек кездесетін өсімдік қауымдастықтары жайлы құнды мәліметтер жинақталды.

Өсімдіктердің барлық түрлері «Қазақстан өсімдіктерін иллюстрациялы анықтағыш» және «Қазақстан флорасы» құралдарының көмегімен анықталды, түрлердің атаулары соңғы таксономиялық өзгерістерді ескере отырып берілді.

Жетісу Алатауының өсімдікжабынын жіктеу барысында таксондарға бөлудің физиономиялық тәсілі пайдаланылды. Өсімдік жамылғысының экологиялық-физиономиялық ерекшеліктеріне сәйкес өсімдікжабынның 6 типі ажыратылды, олар: орман, бұта, шалғын, шөпті батпақ, дала және шөл типтері. Өсімдікжабын типтері экологиялық-физиономиялық категориялардан тұрады. Мысалы, орман типін – қылқан жапырақты, ұсақ жапырақты және жайылма ормандары құрайды. Әр өсімдікжабын типі үшін түр алуандығының фитоценоздық сипаттамасы жасалды, олардың биіктік белдеуге қатыстылығы анықталды.

*Зерттеу жұмыстары төмендегі Бағдарламалар аясында жүргізілді:*

0091 «Азық-түлік бағдарламасын іске асыру барысында агробиоалуандықтың генетикалық қорын байыту және сақтаудың негізгі көзі ретінде Қазақстандағы мәдени өсімдіктердің жабайы туыстарының ботаникалық алуандығын зерттеу» (2013-2015); BR05236546 «Биологиялық алуандықты сақтаудың тұрақты жүйесі ретінде өсімдіктерді сақтауға арналған ғаламдық стратегияның Қазақстан үшін маңызды ғылыми-практикалық міндеттерін мемлекеттік ботаникалық бақтардың жүзеге асыруы» (2018-2020).

## Әдебиеттер

- 1 Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Азиатская часть. – М.: «Мысль», 1978. – 512 с.
- 2 Rachkovskaya E.I., Volkova E.A., Hramtsov V.N. Botanical Geography of Kazakhstan and Middle Asia (desert region). – Saint Petersburg: Boston-Specter. – 2003. – P. 424.
- 3 Рубцов Н.И. Растительный покров Джунгарского Алатау. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1948. – 184 с.
- 4 Голоскоков В.П. Флора Джунгарского Алатау. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 224 с.



- 5 Мирзалинов Р.А., Дуйсенбеков С.Л., Усен К. [и др.]. Почвы Казахстана: русско-казахский словарь справочник. – Алматы: КазАТК, 2008. – 271 с.
- 6 Димеева Л.А., Аблайханов Е.Т. Особенности высотной поясности растительности южного макросклона Джунгарского Алатау // Вестник КазНУ им. аль-Фараби. Серия экологическая. – 2014. – Вып. 3 (42). – С. 120-125.
- 7 Dimeyeva L., Ablaikhanov E., Islamgulova A. Vegetation of the southern range of the Junggar Alatau Mountains // International Conference «Applied ecology: problems, innovations». – Tbilisi, 2015. – P. 43-45.
- 8 Dimeyeva L., Sitpayeva G., Ussen K., Orlovsky L., Ablaikhanov E., Islamgulova A., Zhang Y.-M., Zhang, J., Suleimenova N. Meadow vegetation of the Zhetysu Alatau Mountains // Applied Ecology and Environmental Research. – 2016. – 14 (4). – С. 375-398.
- 9 Westhoff V., van der Maarel E. The Braun-Blanquet approach // Handbook of Vegetation Science. – 1973. – V. 5. – P. 617-726.
- 10 Tichý L. Software for vegetation classification // Journal of Vegetation Science. – 2002. – V. 13. – P. 451-453.
- 11 Grime J.P. Plant functional types, communities and ecosystems // Ecology: achievement and challenge / Eds Press M.C., Huntly N.J. – Cambridge University Press. – 2001. – P. 161-179.
- 12 Быков Б.А. Еловые леса Тянь-Шаня. – Алма-Ата: Наука, 1985. – 143 с.
- 13 Ролдугин И.И. Еловые леса Северного Тянь-Шаня (флора, классификация и динамика). – Алма-Ата: Наука, 1989. – 304 с.
- 14 Warming E. Oecology of plants: an introduction to the study of plant communities. – London: Oxford University Press, 1909. – 438 pages.
- 15 Diels L. Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigsten Arten, insbesondere den Nutzpflanzen. – Berlin, 1930.
- 16 Александрова В.Д. Классификация растительности. – Л.: Наука, 1969. – 275 с.
- 17 Whittaker R.H. Communities and ecosystems. – New York: MacMillan, 1975.
- 18 Ellenberg H., Mueller-Dombois D. Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations of the Earth // Inst. ETH, Stiftung. Rubel, Zurich. – 1967. – V. 37. – P. 21-55.
- 19 Zhukova L.A., Dorogova Y.A., Turmuhametova N.V., et al. Ecological indicator values and methods of analysis of ecological diversity of plants. – Yoshkar-Ola: Mari State Univ. – 2010. – P. 368.
- 20 Миркин Б.М., Наумов Л.Г., Голуб В.Б., Хазиахметов Р.М.. Экологические классификации видов растений // Журнал общей биологии. – 2018. – Т. 79, №1. – С. 64-75.
- 21 Robert H. Whittaker. Classification of natural communities // The Botanical review. – 1962. – Vol. 28. – P. 1-239.
- 22 Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. – Wien-New York: Springer, 1964. – P. 865.
- 23 Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Метод классификации растительности по Браун-Бланке в России // Журнал общей биологии. – Т. 70, №1. – 2009. – С. 66-77.
- 24 Гиляров А.М. Перестройка в экологии: от описания видимого к пониманию скрытого // Вестник РАН. – Т. 75, №3. – 2005. – Стр. 214-223.
- 25 Pérez-Harguindeguy N., Díaz S., Garnier E., Lavorel S. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide // Australian J. Botany. – 2013. – V. 61. – P. 167-234.
- 26 Rush G.M., Pausas J.G., Lepš J. Plant functional types in relation to disturbance and land use: introduction // J. Veg. Sci. – 2003. – V. 14. – P. 307-310.
- 27 Ellenberg H. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. Einführung in die phytologie. – Stuttgart: Eugen Ulmer, 1956.
- 28 Ellenberg H. Ökosystemforschung. – Berlin: Springer-Verlag, 1973.
- 29 Küchler A.W. A physiognomic classification of vegetation // Annals of the American Association of Geographers. – 1949. – V. 39. – P. 201-210.
- 30 Küchler A.W. Vegetation mapping. – New York: Ronald Press Co., 1967. – P. 472.
- 31 Lavorel S., Grigulis K., Lamarque P. et al., Using plant functional traits to understand the landscape distribution of multiple ecosystem services // J.Ecol. – 2011. – V. 99. – P. 135-147.
- 32 Иллюстрированный определитель растений Казахстана / Под ред. В.П. Голоскокова. – Алма-Ата: Изд-во «Наука» Казахской ССР. – 1969. – Т. 1. – 644 с.; – 1972. – Т. 2. – 572 с.
- 33 Флора Казахстана / Под ред. Н. В. Павлова. – Алма-Ата: Изд-во АН Казахской ССР. – 1956. – Т. 1. – 354 с.; – 1958. – Т. 2. – 292 с.; – 1960. – Т. 3. – 460 с.; – 1961. – Т. 4. – 548 с.; – 1961. – Т. 5. – 515 с.; – 1963. – Т. 6. – 465 с.; – 1964. – Т. 7. – 497 с.; – 1965. – Т. 8. – 447 с.; – 1966. – Т. 9. – 640 с.
- 34 Арыстангалиев С.А., Рамазанов Е.Р. Растения Казахстана. – Алма-Ата: Издательство «НАУКА» Казахской ССР, 1977. – С. 288.
- 35 Арыстангалиев С.А. Словарь казахско-русско-латинских названий растений Казахстана. – Кокшетау: Келешек-2030, 2013. – 220 с.
- 36 Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран. – 2007-2020. – <http://www.plantarium.ru/>
- 37 The Plant List. – 2013. Version 1.1. – <http://www.theplantlist.org/>
- 38 Родин Л.Е. Материалы к познанию лесов Тянь-Шаня. Ельники Северного макросклона Джунгарского Алатау // Труды ботанического института АН СССР. Т. 3, №1. – 1933. – С. 273-300.
- 39 Огарь Н. П. Яблоня Сиверса. – Алматы: Полидей, 2018. – 200 с.
- 40 Джангалиев А. Д. Дикая яблоня Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 283 с.

- 41 Кердяшкин А.В., Шадманова Л.Ш., Говорухина С.А., Калиев Б.Ш. Современное состояние яблоневых сообществ северного хребта Жетысуского Алатау // Труды XVIII международной научно-практической конференции «Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии». – Барнаул, 2019. – С. 276-283.
- 42 Красная книга Казахстана. Том 2: Растения (колл. авт.). – Астана, 2014. – С. 452.
- 43 Касенова Г., Кентбаева Б. А. Состояние лесного фонда Жонгар-Алатауского ГНПП // Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. – Алматы, 2017. – № 2 (74). – С. 210–214.
- 44 Димеева Л.А., Султанова Б.М., Усен К., Калиев Б.Ш., Аблайханов Е.Т., Иманалинова А.А. Растительность долин рек Жетысуского Алатау // Труды XVII международной научно-практической конференции «Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии». – Барнаул, 2018. – С. 54-57.
- 45 Ролдугин И.И. От Прибалхашья до Джунгарских ворот. – Алматы: LEM, 2015. – С. 140.
- 46 Димеева Л.А., Исламгулова А.Ф., Аблайханов Е.Т. Фитоценотическая характеристика степной растительности Джунгарского Алатау // Материалы VII-го Международного симпозиума «Степи Северной Евразии». – Оренбург: Димур, 2015. – С. 307-311.

### References

- 1 Gvozdetskiy, N.A., Mikhaylov, N.I. Fizicheskaya geografiya SSSR. Aziatskaya chast [Physical geography of the USSR. Asian part]. Moskva: «Mysl», 1978.
- 2 Rachkovskaya, E.L., Volkova, E.A., Hramtsov, V.N. Botanical Geography of Kazakhstan and Middle Asia (desert region). Saint Petersburg: Boston-Specter, 2003.
- 3 Rubtsov, N.I. Rastitelnyi pokrov Dzhungarskogo Alatau [Vegetation cover of Dzhungar Alatau]. Alma-ata: Izd-vo AN KazSSR, 1948.
- 4 Goloskokov, V.P. Flora Dzhungarskogo Alatau [Flora of the Dzungarian Alatau]. Alma-Ata: Nauka, 1984.
- 5 Mirzadinov, R.A., Duisenbekov, S.L., Usen, K. etc. Pochvy Kazakhstana: rusско-kazakhskii slovar spravochnik [Soil of Kazakhstan: guide to russian-kazakh dictionary]. Almaty: KazATK, 2008.
- 6 Dimeeva, L.A., Ablaihanov, E.T. “Osobennosti vysochnoi poyasnosti rastitelnosti yuzhnogo makrosklona Dzhungarskogo Alatau [Peculiarities of vegetation altitudinal zonality in the southern range of the Junggar Alatau].” Vestnik KazNU im. al-Farabi. Seriya ekologicheskaya 3, no. 42 (2014): 120-125.
- 7 Dimeyeva, L., Ablaihanov, E., Islamgulova, A. “Vegetation of the southern range of the Junggar Alatau Mountains.” International Conference «Applied ecology: problems, innovations». ICAE (2015): 43-45.
- 8 Dimeyeva, L., Sitpayeva, G., Ussen, K., Orlovsky, L., Ablaihanov, E., Islamgulova, A., Zhang, Y.-M., Zhang, J., Su-leimenova, N. “Meadow vegetation of the Zhetysu Alatau Mountains.” Applied Ecology and Environmental Research 14, no. 4 (2016): 375-398.
- 9 Westhoff, V., van der Maarel E. “The Braun-Blanquet approach.” Handbook of Vegetation Science 5 (1973): 617-726.
- 10 Tichý, L. Juice. “Software for vegetation classification.” Journal of Vegetation Science 13 (2002): 451-453.
- 11 Grime, J.P. “Plant functional types, communities and ecosystems.” Ecology: achievement and challenge. Cambridge University Press (2001): 161-179.
- 12 Bykov, B.A. Elovye lesa Tyan-Shanya [Spruce forests of the Tien Shan Mountains]. Alma-Ata: Nauka, 1985.
- 13 Roldugin, I.I. Elovye lesa Severnogo Tyan-Shanya (flora, klassifikatsiya i dinamika) [Spruce forests of the Northern Tien Shan (flora, classification and dynamics)]. Alma-Ata: Nauka, 1989.
- 14 Warming, E. Oecology of plants: an introduction to the study of plant communities. London: Oxford University Press, 1909.
- 15 Diels, L. Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigsten Arten, insbesondere den Nutzpflanzen. Berlin, 1930.
- 16 Aleksandrova, V.D. Klassifikatsiya rastitelnosti [Vegetation classification]. – L.: Nauka, 1969.
- 17 Whittaker, R.H. Communities and ecosystems. New York: MacMillan, 1975.
- 18 Ellenberg, H., Mueller-Dombois, D. “Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations of the Earth.” Inst. ETH, Stiftung. Rubel, Zurich 37 (1967): 21-55.
- 19 Zhukova, L.A., Dorogova, Y.A., Turmuhametova N.V., et al. Ecological indicator values and methods of analysis of ecological diversity of plants. Yoshkar-Ola: Mari State Univ., 2010.
- 20 Mirkin, B.M., Naumov, L.G., Golub, V.B., Khaziakhmetov, P.M. “Ekologicheskie klassifikatsii vidov rastenii [Ecological classifications of plant species].” Zhurnal obshchei biologii 79, no. 1 (2018): 64-75.
- 21 Robert, H. Whittaker. “Classification of natural communities.” The Botanical review. V. 28 (1962): 1-239.
- 22 Braun-Blanquet, J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Wien-New York: Springer, 1964.
- 23 Mirkin, B.M., Naumova, L.G. “Metod klassifikatsii rastitelnosti po Braun-Blanquet v Rossii [Braun-Blanquet Vegetation Classification Method in Russia].” Zhurnal obshchei biologii. V. 70, no. 1 (2009): 66-77.
- 24 Gilyarov, A.M. “Perestroika v ekologii: ot opisaniya vidimogo k ponimaniyu skrytogo [Restructuring in ecology: from the description of the visible to the understanding of the hidden].” Vestnik RAN. V. 75, no. 3 (2005): 214-223.
- 25 Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S. et al. “New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide.” Australian J. Botany. V. 61 (2013): 167-234.
- 26 Rush, G.M., Pausas, J.G., Lepš, J. “Plant functional types in relation to disturbance and land use: introduction.” J. Veg. Sci. V. 14 (2003): 307-310.

- 27 Ellenberg, H. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. Einführung in die phytologie. Stuttgart: Eugen Ulmer, 1956.
- 28 Ellenberg, H. Ökosystemforschung. Berlin: Springer-Verlag, 1973.
- 29 Küchler, A.W. "A physiognomic classification of vegetation." *Annals of the American Association of Geographers*. V. 39 (1949): 201-210.
- 30 Küchler, A.W. *Vegetation mapping*. New York: Ronald Press Co., 1967.
- 31 Lavorel, S., Grigulis, K., Lamarque, P. et al. "Using plant functional traits to understand the landscape distribution of multiple ecosystem services." *J.Ecol.* V. 99 (2011): 135-147.
- 32 Иллюстриrovанный определитель растений Казахстана [Illustrated plant identifier of Kazakhstan] / Под ред. V.P. Goloskokova. Alma-Ata: Izd-vo «Nauka». – 1969. – Т. 1.; – 1972. – Т. 2.
- 33 Flora Kazakhstana [Flora Of Kazakhstan] / Под ред. N.V. Pavlova. Alma-Ata: Izd-vo AN Kazakh SSR. – 1956. – Т. 1.; – 1958. – Т. 2.; – 1960. – Т. 3.; – 1961. – Т. 4.; – 1961. – Т. 5.
- 34 Arystangaliev, S.A., Ramazanov, E.R. *Rasteniya Kazakhstana [Plants of Kazakhstan]*. Alma-Ata: «NAUKA», 1977.
- 35 Arystangaliev, S.A.. *Slovar kazakhsko-russko-latinskikh nazvanii rastenii Kazakhstana [Dictionary of Kazakh-Russian-Latin names of plants of Kazakhstan]*. Kokshetau: Keleshek-2030, 2013.
- 36 Plantarium: otkrytyi onlain atlas-opredelitel rastenii i lishainikov Rossii i sopredelnykh stran [Plantarium: an open online atlas identifier of plants and lichens in Russia and neighboring countries.]. 2007-2020. <http://www.plantarium.ru/>
- 37 The Plant List. – 2013. Version 1.1. <http://www.theplantlist.org/>
- 38 Rodin, L.E. "Materialy k poznaniyu lesov Tyan-Shanya. Elniki Severnogo makrosklona Dzhungarskogo Alatau [Materials for the knowledge of the Tien Shan forests. Spruce forests of the Northern macro slope of the Dzungarian Alatau]." *Trudy botanicheskogo instituta AN SSSR*. V. 3, no. 1 (1933): 273-300.
- 39 Ogar, N.P. *Yablonya Siversa [Sivers Apple Tree]*. Almaty: Polidei, 2018.
- 40 Dzhangaliev, A. D. *Dikaya yablonya Kazakhstana [Wild apple tree of Kazakhstan]*. Alma-Ata: Nauka, 1977.
- 41 Kerdyashkin, A.V., Shadmanov, A.L.Sh., Govorukhina, S.A., Kaliev, B.Sh. "Sovremennoe sostoyanie yablonevykh soobshchestv severnogo khrehta Zhetysuskogo Alatau [The current state of apple communities in the Northern ridge of Zhetysu Alatau mountains]." *Trudy XVIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii»*. V. 18 (2019): 276-283.
- 42 *Krasnaya kniga Kazakhstana. Tom 2: Rasteniya (koll. avt.) [Red Book of Kazakhstan. Volume 2: Plants (coll. Ed.)]*. Astana, 2014.
- 43 Kasenova, G., Kentbaeva, B.A. "Sostoyanie lesnogo fonda Zhongar-Alatauskogo GNPP [The state of the forest fund of Zhongar-Alatau natural park]." *Izdenister, natizheler – Issledovaniya, rezultaty*. V. 74, no. 2 (2017): 210–214.
- 44 Dimeeva, L.A., Sultanova, B.M., Usen, K., Kaliev, B.Sh., Ablaihanov, E.T., Imanalinova, A.A. "Rastitelnost dolin rek Zhetysuskogo Alatau [Vegetation of the river valleys of Zhetysu Alatau]." *Trudy XVII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii»*. V. 17 (2018): 54-57.
- 45 Roldugin, I.I. *Ot Pribalkhashya do Dzhungarskikh vorot [From Balkhash to the Dzhungarian gates]*. Almaty: LEM, 2015.
- 46 Dimeeva, L.A., Islamgulova, A.F., Ablaihanov, E.T. "Fitotsenoticheskaya kharakteristika stepnoi rastitelnosti Dzhungarskogo Alatau [Phytocoenotic characteristics of steppe vegetation in Junggar Alatau mountains]." *Materialy VII-go Mezhdunarodnogo simpoziuma «Stepi Severnoi Evrazii»*. V. 7 (2015): 307-311.

## МАЗМҰНЫ – CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

<b>1-бөлім</b> <b>Қоршаған ортаны қорғау және</b> <b>қоршаған ортаға антропогендік</b> <b>факторлардың әсері</b>	<b>Section 1</b> <b>Environmental impact of</b> <b>anthropogenic factors and</b> <b>environmental protectiony</b>	<b>Раздел 1</b> <b>Воздействие на окружающую</b> <b>среду антропогенных факторов и</b> <b>защита окружающей среды</b>
<i>Айткельдиева С.А., Файзулина Э.Р., Ауэзова О.Н., Спанкулова Г.А., Татаркина Л.Г., Алимбетова А.В.</i> Оценка биотехнологического потенциала термотолерантных микроорганизмов для деградации нефти ..... 4		
<i>Kaiyrmanova G.K., Swiecicka I., Tapeshova Sh.Zh., Magmiyev R.B., Shaimerdenova U.T., Satayeva K.N., Yernazarova A.K.</i> Screening of microorganisms with oil-diluting and oil-displacing properties ..... 14		
<i>Чередниченко О.Г., Магда И.Н., Пилюгина А.Л., Байгушикова Г.М., Нуралиев С.К., Джансугурова Л.Б., Нугай Н.Л.</i> Генетический статус мышевидных грызунов, обитающих вблизи мест хранения устаревших запасов пестицидов ..... 21		
<i>Кокомбаев К.С., Тенирбердиев Н.К.</i> Влияние антропогенного воздействия на изменение содержания гумуса в пахотных почвах ..... 35		
<b>2-бөлім</b> <b>Қоршаған орта</b> <b>ластаушыларының биотаға</b> <b>және тұрғындар денсаулығына</b> <b>әсерін бағалау</b>	<b>Section 2</b> <b>Assessment of</b> <b>environmental pollution</b> <b>on biota and</b> <b>health</b>	<b>Раздел 2</b> <b>Оценка действия</b> <b>загрязнителей окружающей среды</b> <b>на биоту и</b> <b>здоровье населения</b>
<i>Игонина Е.В., Жошибекова Б.С., Лебедева А.А., Абишев С.К.</i> Изучение индукции 8-метоксипсораленом (8-МОП) SOS-ответа у бактерий <i>Escherichia coli</i> ..... 44		
<i>Кенжетеев Г.Ж., Сырлыбекқызы С., Баймукашева Ш.Х.</i> Эколого-геохимическая оценка степени загрязнения отстойника сточных вод для разработки путей их очистки и использования в аридной зоне ..... 53		
<i>Кожабергенов Н.С., Тайлакова Э.Т., Исабек А.У., Бурашев Е.Д., Султанкулова К.Т., Рсалиев А.С.</i> Разработка дуплексной тест-системы ПЦР для дифференциальной диагностики септориоза пшеницы ..... 63		
<b>3-бөлім</b> <b>Биологиялық</b> <b>алуантүрлікті сақтаудың</b> <b>өзекті мәселелері</b>	<b>Section 3</b> <b>Actual problems</b> <b>of biodiversity</b> <b>conservation</b>	<b>Раздел 3</b> <b>Актуальные проблемы</b> <b>сохранения биологического</b> <b>разнообразия</b>
<i>Балоуч Х., Бауенова М.О., Садвакасова А.К., Сарсекеева Ф.К., Кирбаева Д.К., Болатхан К., Мустапаева Ж.О.</i> Сравнительная характеристика видового разнообразия альгофлоры озер Алматинской области .....72		
<i>Калиев Б.Ш., Димеева Л.А., Үсен Қ., Кердяшкин А.В., Салмуханбетова Ж.К., Иманалинова А.А., Аблайханов Е.Т.</i> Жетісу Алатауы өсімдікжабынының экологиялық-физиономиялық типтері ..... 83		